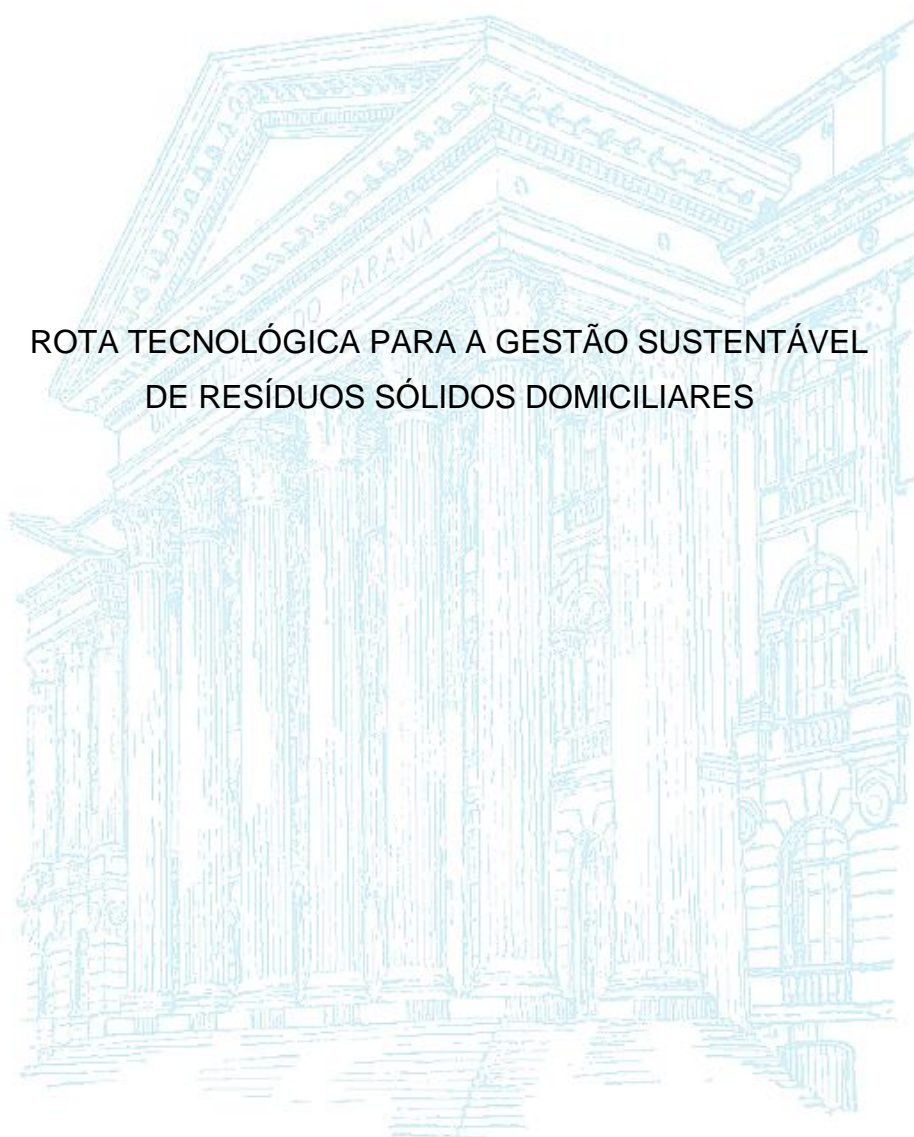


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CHRISTIANE DIAS PEREIRA

ROTA TECNOLÓGICA PARA A GESTÃO SUSTENTÁVEL
DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES



CURITIBA

2014

CHRISTIANE DIAS PEREIRA

ROTA TECNOLÓGICA PARA A GESTÃO SUSTENTÁVEL
DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES

Trabalho de conclusão de curso de especialização
apresentado como requisito à conclusão do Curso
de Pós-Graduação em Direito Ambiental – *Lato
Sensu*, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Vitor Afonso Hoeflich

Coorientadora:

Dr.^a Mara Freire Rodrigues de Souza

Coorientadora:

Eng. Eletr. Esp. Ivonete Tanajura Luz Hoeflich

CURITIBA

2014

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UFPR / REDE / SISTEMA DE BIBLIOTECAS

Pereira, Christiane Dias.

Rota tecnológica para a gestão sustentável de resíduos sólidos domiciliares./ Christiane Dias Pereira. – Curitiba, 2014.

113 fl.: il.; tab., graf.

Orientador: Vitor Afonso Hoeflich

Coorientadora: Mara Freire Rodrigues de Souza

Coorientadora: Ivonete Tanajura Luz Hoeflich

Trabalho de conclusão de curso (Especialização) – Universidade Federal do Paraná, Curso de Pós-Graduação em Direito Ambiental.

1. Direito Ambiental. 2. Resíduos Sólidos Domiciliares – Dissertações. I. Vitor Afonso Hoeflich. II. Universidade Federal do Paraná. III. Rota tecnológica para a gestão sustentável de resíduos sólidos domiciliares.

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

TERMO DE APROVAÇÃO

CHRISTIANE DIAS PEREIRA

ROTA TECNOLÓGICA PARA A GESTÃO SUSTENTÁVEL DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES

Trabalho apresentado como requisito parcial para obtenção do grau de Especialista no Curso de Pós-Graduação em Direito Ambiental – *Lato Sensu*, Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Orientador: Professor Doutor Vitor Afonso Hoeflich
Universidade Federal do Paraná

Doutora Mara Freire Rodrigues de Souza

Mestre André Ramos Dresch

Curitiba, 29 de março de 2014.

Dedico este trabalho aos meus pais, filhos, irmãs,
esposo e à minha saudosa avó.
Em especial ao Prof. Dr. Klaus Fricke,
que me sensibilizou e conscientizou
quanto à gestão sustentável dos resíduos sólidos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus orientadores, que sem medir esforços me apoiaram durante o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho retrata as nuances do manejo de resíduos sólidos no tocante a escolha de rota tecnológica para a gestão sustentável dos resíduos sólidos domiciliares, formado por um complexo mosaico que abarca desde ações de planejamento, escolhas tecnológicas, práticas de monitoramento, capacidades operacionais, ajustes econômicos e legais, bem como a sensibilização da comunidade e inclusão social, todas amparadas através da instituição de política pública que promova a preservação dos recursos naturais e a proteção do clima. Durante o desenvolvimento do trabalho foram avaliadas tanto as características dos resíduos quanto o panorama tecnológico global disponível, esta ação justificada pela carência observada no mercado brasileiro no que se refere à disponibilidade de tecnologias que promovam a valorização dos resíduos. Com este binômio definido, substratos x tecnologias, formou-se uma matriz de impacto tecnológico a fim de gerar uma metodologia que subsidiasse a decisão sobre a melhor rota tecnológica para atender aos substratos identificados e gerar recursos secundários que sejam introduzidos nas diversas cadeias produtivas. Como resultado final do trabalho proposto temos a definição de rota tecnológica identificada como tratamento mecânico-biológico que abarca desde processos mecanizados para a segregação dos resíduos até processos biológicos de fermentação, compostagem e secagem onde a rota escolhida potencializa a recuperação dos resíduos, gerando recursos secundários na forma de energia alternativa como o biogás, produtos recicláveis, composto e biomassa, todos estes importantes atores no fomento da economicidade e otimização do sistema, compondo desta forma a gestão sustentável dos resíduos sólidos domiciliares.

Palavras-chave: Plano de gerenciamento de resíduos sólidos. Valorização de resíduos. Tecnologias ambientais. Tratamento mecânico-biológico.

ABSTRACT

This report delineate the nuances of solid waste management with regard to identify the technological route for the sustainable solid waste management, this one formed as a complex mosaic that includes from planning actions, technological choices, monitoring practices, operational capabilities, legal and economic adjustments as well as to make the community aware and social inclusion, all supported through the establishment of public policy that promotes the preservation of natural resources and climate protection. During the development of the report were evaluated the waste characteristics as well as the available world technology scene, this action justified by grace observed in the Brazilian market failure with regard to the availability of technologies that promote waste recovery. Identified this binomial, was established a technological impact matrix in order to generate a methodology that subsidize decision on the best technological route to meet the identified substrates and generate secondary resources that can be introduced in the production chains. As a final result of the proposed report we have the definition of technological route identified as mechanical-biological treatment that ranges from mechanized processes for waste segregation to biological fermentation processes, composting and drying where the chosen route enhances the waste recovery, generating secondary resources in the form of renewable energy such as biogas, recyclables, compost and biomass, all these important actors in the promotion of economic efficiency and system optimization, thus compounding the sustainable management of domiciliary solid waste.

Key-words: Solid waste management plan. Waste recovery. Environmental technologies. Mechanical and biological treatment.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE JACAREÍ.....	23
FIGURA 2 – MAPA DE REGIONALIZAÇÃO DA ÁREA URBANA EM JACAREÍ.....	24
FIGURA 3 – DIAGRAMA DA POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....	30
FIGURA 4 – PIRÂMIDE DE DISTRIBUIÇÃO DE GERENCIAMENTO E VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM NÍVEL GLOBAL	41
FIGURA 5 – ROTAS TECNOLÓGICAS DE CONVERSÃO ENERGÉTICA DE BIOMASSA	43
FIGURA 6 – DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIAS DE FERMENTAÇÃO SECAS E ÚMIDAS NA EUROPA	48
FIGURA 7 – PARÂMETROS PARA ESCOLHA DO PROCESSO DE BIODIGESTÃO	50
FIGURA 8 – NÍVEIS DE BIOGÁS PRODUZIDOS PELOS DIFERENTES TIPOS DE FERMENTAÇÃO	51
FIGURA 9 – ESQUEMA DE UM BIODIGESTOR DE MISTURA INTEGRAL PARA FERMENTAÇÃO ÚMIDA DE FORMA CONTÍNUA, CONFORME /31/	53
FIGURA 10 – OPÇÕES DE HOMOGENEIZAÇÃO EM BIORREATORES, CONFORME /19/	54
FIGURA 11 – BALANÇO ENERGÉTICO NO PROCESSO TERMOFÍLICO PARA FERMENTAÇÃO ÚMIDA, SECA CONTÍNUA E FERMENTAÇÃO SECA DESCONTÍNUA.....	56
FIGURA 12 – PORCENTAGEM DE EMISSÕES LÍQUIDAS COM BASE NA QUANTIDADE DE MATERIAL ENCAMINHADO PARA O TRATAMENTO	58
FIGURA 13 – VARIAÇÃO DO NÍVEL DE TEMPERATURA NA LEIRA DURANTE O PROCESSO DE COMPOSTAGEM	62
FIGURA 14 – LEIRA DE COMPOSTAGEM, SENDO MONTADA E REVIRADA POR PÁ-CARREGADEIRA	65
FIGURA 15 – REVOLVIMENTO DE LEIRA TRIANGULAR	66

FIGURA 16 – MODELO DIDÁTICO DE SISTEMA DE COMPOSTAGEM COM AERAÇÃO FORÇADA	67
FIGURA 17 – SISTEMA DE COMPOSTAGEM COM AERAÇÃO FORÇADA, SEM COBERTURA	68
FIGURA 18 – SISTEMA DE AERAÇÃO PASSIVA	69
FIGURA 19 – LEIRA DE COMPOSTAGEM COM AERAÇÃO PASSIVA.....	69
FIGURA 20 – PERFIL DO TÚNEL DE COMPOSTAGEM INTENSIVA.....	71
FIGURA 21 – TÚNEL DE COMPOSTAGEM INTENSIVA.....	71
FIGURA 22 – PERFIL DA LEIRA DE COMPOSTAGEM TABULAR	72
FIGURA 23 – COMPOSTAGEM EM LEIRA PLANA E REVOLVÍVEL	73

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – DIVISÃO TERRITORIAL	24
QUADRO 2 – CONTEÚDO MÍNIMO PARA OS PLANOS DE GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOS CONSÓRCIOS PÚBLICOS – MUNICÍPIOS E DISTRITO FEDERAL	34
QUADRO 3 – CARACTERIZAÇÃO GRAVIMÉTRICA DOS RESÍDUOS NO MUNICÍPIO DE JACAREÍ E PROGNÓSTICO PARA 2023	37
QUADRO 4 – VOLUME DO LIXO GERADO EM TON/ANO	38
QUADRO 5 – <i>STATUS QUO</i> RELATIVO ÀS INSTALAÇÕES DE TRATAMENTO PARA RESÍDUOS ORGÂNICOS E VERDES (BASE 2012) ASSIM COMO AS INSTALAÇÕES DE TRATAMENTO MECÂNICO-BIOLÓGICO DE RESÍDUOS DOMICILIARES (BASE 2011), TODAS AS INSTALAÇÕES SITUADAS NA ALEMANHA.....	46
QUADRO 6 – PERÍODO DE OPERAÇÃO DE PLANTAS DE FERMENTAÇÃO PARA RESÍDUOS ORGÂNICOS E VERDES, DIFERENCIADAS SEGUNDO OS TIPOS DE TÉCNICA E DE OPERAÇÃO	47
QUADRO 7 – VANTAGENS E DESVANTAGENS: FERMENTAÇÃO SECA X FERMENTAÇÃO ÚMIDA.....	59
QUADRO 8 – DADOS COMPARATIVOS: FERMENTAÇÃO SECA CONTÍNUA X DESCONTÍNUA (POR BATELADA)	60
QUADRO 9 – SISTEMATIZAÇÃO DAS TECNOLOGIAS AERÓBIAS	64
QUADRO 10 – CLASSIFICAÇÃO DO GRAU DE MAGNITUDE PARA A MATRIZ DE IMPACTO TECNOLÓGICO	75
QUADRO 11 – FORMAÇÃO DA MATRIZ DE IMPACTOS TECNOLÓGICOS: COMPONENTES AMBIENTAIS – FERMENTAÇÃO ÚMIDA.....	76
QUADRO 12 – FORMAÇÃO DA MATRIZ DE IMPACTOS TECNOLÓGICOS: COMPONENTES AMBIENTAIS – FERMENTAÇÃO SECA CONTÍNUA.	77

QUADRO 13 – FORMAÇÃO DA MATRIZ DE IMPACTOS TECNOLÓGICOS: COMPONENTES AMBIENTAIS – FERMENTAÇÃO SECA DESCONTÍNUA	78
QUADRO 14 – FORMAÇÃO DA MATRIZ DE IMPACTOS TECNOLÓGICOS: COMPONENTES AMBIENTAIS – COMPOSTAGEM	79
QUADRO 15 – FORMAÇÃO DA MATRIZ DE IMPACTOS TECNOLÓGICOS: COMPONENTES ECONÔMICOS – FERMENTAÇÃO ÚMIDA	80
QUADRO 16 – FORMAÇÃO DA MATRIZ DE IMPACTOS TECNOLÓGICOS: COMPONENTES ECONÔMICOS – FERMENTAÇÃO SECA CONTÍNUA	81
QUADRO 17 – FORMAÇÃO DA MATRIZ DE IMPACTOS TECNOLÓGICOS: COMPONENTES ECONÔMICOS – FERMENTAÇÃO SECA DESCONTÍNUA	82
QUADRO 18 – FORMAÇÃO DA MATRIZ DE IMPACTOS TECNOLÓGICOS: COMPONENTES ECONÔMICOS – COMPOSTAGEM.....	83
QUADRO 19 – FORMAÇÃO DA MATRIZ DE IMPACTOS TECNOLÓGICOS: COMPONENTES OPERACIONAIS – FERMENTAÇÃO ÚMIDA	84
QUADRO 20 – FORMAÇÃO DA MATRIZ DE IMPACTOS TECNOLÓGICOS: COMPONENTES OPERACIONAIS – FERMENTAÇÃO SECA CONTÍNUA	85
QUADRO 21 – FORMAÇÃO DA MATRIZ DE IMPACTOS TECNOLÓGICOS: COMPONENTES OPERACIONAIS – FERMENTAÇÃO SECA DESCONTÍNUA	86
QUADRO 22 – FORMAÇÃO DA MATRIZ DE IMPACTOS TECNOLÓGICOS: COMPONENTES OPERACIONAIS – COMPOSTAGEM	87
QUADRO 23 – FORMAÇÃO DA MATRIZ DE IMPACTOS TECNOLÓGICOS: COMPILAÇÃO DE RESULTADOS	88

LISTA DE SIGLAS

ABNT NBR	– Associação Brasileira de Normas Técnicas Norma Brasileira
Abrelpe	– Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
BIMA	– <i>Biogas Induced Mixing Arrangement</i>
BNDES	– Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CEF	– Caixa Econômica Federal
Cetesb	– Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CSTR	– <i>Continuously Stirred Tank Reactor</i>
FINEP	– Financiadora de Estudos e Projetos
GEE	– Gases de Efeito Estufa
IBGE	– Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDHM	– Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
MDL	– Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
PIB	– Produto Interno Bruto
PMGIRS	– Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
PNRS	– Política Nacional de Resíduos Sólidos
PPP	– Parceria Público-Privada
PUC-Rio	– Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
RAP	– Relatório Ambiental Preliminar
RCEs	– Reduções Certificadas de Emissões
RSU	– Resíduos Sólidos Urbanos
SAAE	– Serviço Autônomo de Água e Esgoto
SLU	– Sistema de Limpeza Urbana
TAC	– Termo de Ajustamento de Conduta
TMB	– Tratamento Mecânico Biológico
UGRHI	– Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

CH ₄	– gás metano
%	– percentual
€	– Euro
€/t	– Euro por tonelada
g	– grama
hab/km ²	– número de habitantes por quilômetro quadrado
km ²	– quilômetro quadrado
m	– metros
m ²	– metro quadrado
m ³	– metro cúbico
mm	– milímetro
n ^o	– número
Nm ³	– normal metro cúbico
O ₂	– gás oxigênio
p.	– página
t/a	– toneladas por ano
TJ	– terajoule
W/mK	– watt por metro por kelvin

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 OBJETIVOS	20
2.1 OBJETIVO GERAL	20
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
3 MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	21
3.2 DESCRIÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO: MUNICÍPIO DE JACAREÍ – SP	22
3.2.1 Aspectos Geográficos	22
3.2.2 Aspectos Demográficos	25
3.2.3 Aspectos Econômicos	25
3.2.4 Aspectos Ambientais	26
3.3 CONCEITOS FUNDAMENTAIS	27
3.3.1 Arcabouço Legal Formador da Política Nacional de Resíduos Sólidos	31
3.3.2 Planejamento	33
3.4 FONTES DE PESQUISA	34
4 RESULTADOS	36
4.1 CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES EM JACAREÍ	36
4.2 DESCRIÇÃO DAS TECNOLOGIAS EXISTENTES PARA A VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES	39
4.2.1 Aspectos Gerais	40
4.2.2 Tecnologia de Biodigestão – Tratamento Biológico Anaeróbio	44
4.2.3 Classificação do Processo de Biodigestão	49
4.2.4 Fermentação Úmida	52
4.2.5 Fermentação Seca Contínua e Descontínua	54
4.2.6 Geração de Biogás	56
4.2.7 Balanço Hídrico	57
4.3 TECNOLOGIA DE COMPOSTAGEM – TRATAMENTO BIOLÓGICO AERÓBIO	61
4.3.1 Tecnologias de Compostagem	63

4.3.2	Sistemas Extensivos de Compostagem	65
4.3.2.1	Compostagem em Leiras Triangulares sem Aeração Forçada	66
4.3.2.2	Compostagem em Leiras Triangulares com Aeração Forçada	67
4.3.2.3	Compostagem em Leiras Trapezoidais com Aeração Passiva	68
4.3.2.4	Sistemas Intensivos de Compostagem	70
4.3.2.5	Sistema de Compostagem em Túnel	70
4.3.2.6	Compostagem em Leira Plana	72
4.3.2.7	Compostagem em Leira Trapezoidal.....	73
4.4	ESTABELECIMENTO DE MATRIZ DE IMPACTO TECNOLÓGICO	74
4.5	AVALIAÇÃO DE ROTA TECNOLÓGICA PARA A GESTÃO SUSTENTÁVEL DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES	88
5	CONCLUSÕES.....	93
5.1	CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES EM JACAREÍ	93
5.2	DESCRIÇÃO DAS TECNOLOGIAS EXISTENTES PARA A VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES	94
5.3	ESTABELECIMENTO DE MATRIZ DE IMPACTO TECNOLÓGICO QUE AVALIE OS ASPECTOS AMBIENTAIS, ECONÔMICOS E OPERACIONAIS	95
5.4	AVALIAÇÃO DE ROTA TECNOLÓGICA PARA A GESTÃO SUSTENTÁVEL DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES ELEGIDA PELO MUNICÍPIO DE JACAREÍ	96
6	RECOMENDAÇÕES.....	97
	REFERÊNCIAS.....	101
	GLOSSÁRIO.....	108

1 INTRODUÇÃO

Ao longo do tempo, foram construídas diferentes percepções sobre o lixo, ou melhor, sobre os resíduos produzidos pelo homem. Desde a perspectiva religiosa na Idade Média, em que os resíduos eram associados à doença, até uma visão mais ecológica nos nossos dias, o lixo ajuda a contar a história do desenvolvimento das civilizações.

Segundo Rauber,

O vertiginoso crescimento demográfico experimentado pela humanidade no último século, associada à urbanização desordenada e ao desenvolvimento extraordinário da indústria e do mercado de consumo desde a Revolução Industrial, tem trazido grandes desafios aos governos e à coletividade.

Um deles, sem dúvida, é a destinação do crescente volume e variedades de resíduos e rejeitos gerados pela produção, comercialização e utilização de bens e serviços, numa sociedade altamente consumista, inserida em um sistema capitalista. Mais do que isso, a exigência passou a ser descobrir e implementar formas de reciclagem, reaproveitamento e/ou disposição final ambientalmente adequada desses produtos inservíveis. (RAUBER, 2011, p.1)

Os resíduos sólidos urbanos (RSU) vêm sendo gerenciados, na maioria dos municípios brasileiros, com ênfase em conceitos de limpeza pública datados das décadas de 70 e 80, do século XX, contemplando serviços de coleta e disposição final, adequada ou não.

Segundo a Minuta do Plano Nacional de Resíduos Sólidos:

[...] a disposição final de resíduos e rejeitos no solo [...], em termos quantitativos, de 2000 a 2008, houve um aumento de 120% na quantidade de resíduos e rejeitos dispostos em aterros sanitários e uma redução de 18% na quantidade encaminhada para lixões. Diferentemente do que ocorria em 2000, quando 60% da quantidade total dos resíduos e rejeitos urbanos eram dispostos de forma inadequada (aterro controlado e lixão), em 2008, vê-se a inversão desses valores, no qual 60% têm disposição final em aterro sanitário. Porém, não se pode esquecer que ainda há 74 mil toneladas por dia de resíduos e rejeitos sendo dispostos em aterros controlados e lixões. (BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, 2012, p. 13)

Levantamento realizado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) em 2012, identificou que 57,98% dos municípios empregavam destinação dita como adequada em aterro sanitário. Avaliando estes dados temos que ambos levantamentos, sejam dados emitidos pela

Abrelpe (2012) sejam dados emitidos pelo Plano Nacional (BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, 2012), este ainda na forma de minuta, convergem em duas questões: o setor de saneamento no Brasil ainda apresenta um déficit significativo quando se trata da destinação adequada de resíduos sólidos urbanos e o aterramento sanitário persiste em ser entendido como uma metodologia adequada de destinação final.

O enorme volume de resíduos gerado diariamente nos centros urbanos tem trazido uma série de problemas ambientais, sociais, econômicos e administrativos, todos ligados a crescente dificuldade de implementar e manter áreas de disposição adequada destes resíduos, conforme artigo técnico III-007 publicado durante o XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental (OLIVEIRA; REIS; PEREIRA, 2000).

De acordo com a estimativa apresentada por Fricke, Kolsch, Pfaff-Simoneid (2009, p. 104-105) de 8 a 12% das emissões de gases de efeito estufa se produzem em países em desenvolvimento e países emergentes a partir dos processos de gerenciamento de resíduos. Uma causa fundamental são as emissões de metano originárias do aterramento de resíduos urbanos sem tratamento (*in natura*), os quais nestes países contêm uma alta parcela de fração orgânica.

Também Tácio de Campos (2013, p. 6) expõe que no que se refere ao comprometimento das águas subterrâneas resultante das emissões líquidas provenientes da decomposição biológica (chorume) e lixiviação, temos o aterramento de resíduos *in natura* como um procedimento de proteção em caráter paliativo e temporário, onde sistemas de proteção, como as ferramentas de impermeabilização e o tratamento do chorume, perderão sua capacidade de funcionamento em um lapso máximo de 30 a 50 anos. Assim, contaminantes minerais e orgânicos são carregados para as águas subterrâneas inevitavelmente.

A composição gravimétrica média estimada no relatório da Abrelpe (2012, p. 30) retrata que 51,4% da composição dos resíduos é formada por matéria orgânica, 31,9% por matéria reciclável (metais com 2,9%; papel, papelão e TetraPak com 13,1%, plástico com 13,5%; e, vidro com 2,4%) e 16,7% por diversos. Esta composição demonstra o potencial de reintegração na cadeia econômica, tanto na forma de recicláveis como na forma de energia renovável, este superior a 80%, quando da aplicação de técnicas de tratamento mecânico e biológico, fazendo eclodir o mercado de consumo sustentável.

O mercado sustentável, do qual o manejo de resíduos faz parte, vem sendo desenvolvido no Brasil, em caráter singelo, desde a década de 1990, porém sofreu uma guinada a partir da edição da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei Federal nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010b).

Conforme comentam Leite e Belchior (2014):

A PNRS prevê que na gestão e no gerenciamento dos resíduos sólidos, deve ser observada a ordem de prioridade “não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos”. De acordo com o referido dispositivo, uma política de reciclagem e tratamento dos resíduos, por exemplo, deve estar necessariamente atrelada a medidas de não geração, redução e reutilização.

Isto se deve ao fato de que durante o processo de extração, transformação e consumo são produzidos rejeitos que causam problemas ao meio ambiente e aos seres humanos. Conviver com estes rejeitos tem se tornado cada vez mais difícil em função do aumento da quantidade de prejuízos e dos riscos previsíveis (e até imprevisíveis) que eles acarretam, o que induz a uma nova perspectiva econômica e social. (LEITE; BELCHIOR, 2014, p. 8-9)

A partir destas afirmações temos que a disposição adequada dos resíduos não se limita ao aterramento sanitário de resíduos *in natura*, tem uma abrangência muito maior, que vai desde a implementação de sistemas de valorização de resíduos até o aterramento sanitário apenas de resíduos inservíveis denominados como rejeitos, segundo definição presente na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (Lei nº 12.305/2010).

Portanto, este estudo visa contemporizar as práticas habitualmente empregadas na forma de aterramento ofertando uma análise tecnológica que garanta uma destinação mais adequada para os resíduos sólidos urbanos, provendo assim uma alternativa para que permita aos municípios atenderem as premissas de hierarquização de procedimentos prevista na PNRS. Para tal se escolheu como estudo de caso o Município de Jacareí, no Estado de São Paulo, por ter contratado em 2010 uma empresa que assumiu em modelo de Parceria Público-Privada (PPP) a gestão de resíduos no Município, vindo a aditar o contrato em 2012 prevendo a introdução de planta de tratamento de resíduos. Assim, a proposta é avaliar a rota tecnológica escolhida tendo como critério balizador uma matriz de impacto tecnológico que demonstre a viabilidade ambiental e econômica da rota elegida.

2 OBJETIVOS

Este capítulo visa traçar as linhas principais do trabalho para contribuir na formação de uma gestão sustentável dos resíduos no Município de Jacareí, Estado de São Paulo, estando subdividido em objetivo geral e objetivos específicos.

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desse estudo é avaliar a rota tecnológica que garanta uma gestão sustentável de resíduos sólidos domiciliares no município de Jacareí, no Estado de São Paulo.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para o alcance do objetivo geral serão desdobrados os objetivos específicos da seguinte forma:

- Caracterizar os resíduos sólidos domiciliares em Jacareí.
- Descrever as tecnologias existentes para a valorização de resíduos sólidos domiciliares.
- Estabelecer uma matriz de impacto tecnológico que avalie os aspectos ambientais, econômicos e operacionais.
- Avaliar a rota tecnológica para a gestão sustentável de resíduos sólidos domiciliares elegida pelo município de Jacareí.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O capítulo proposto vem subdividido em Classificação da Pesquisa; Descrição da Região de Estudo: Município de Jacareí, Conceitos Fundamentais e Fontes de Pesquisa onde esta distribuição permite entender como e onde o trabalho será desenvolvido, relatando as informações empregadas, listando conceitos fundamentais necessários para a análise do problema, bem como de que forma estas informações foram coletadas e avaliadas.

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Segundo Silva e Menezes (2001) a pesquisa realizada tem a seguinte classificação:

- a) do ponto de vista da sua natureza é pesquisa aplicada, que “objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática dirigidos à solução de problemas específicos” (SILVA; MENEZES, 2001, p. 20);
- b) do ponto de vista da forma de abordagem do problema é pesquisa qualitativa que:

[...] considera que há uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, isto é, um vínculo indissociável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito que não pode ser traduzido em números. A interpretação os fenômenos e a atribuição de significados são básicas no processo de pesquisa qualitativa. Não requer o uso de métodos e técnicas estatísticas. O ambiente natural é a fonte direta para coleta de dados e o pesquisador é o instrumento-chave. É descritiva. Os pesquisadores tendem a analisar seus dados indutivamente. O processo e seu significado são os focos principais de abordagem. (SILVA; MENEZES, 2001, p. 20)

Segundo Gil (1991), a pesquisa desenvolvida ainda reúne as seguintes características:

- a) do ponto de vista de seus objetivos é pesquisa exploratória que:

[...] visa proporcionar maior familiaridade com o problema com vistas a torná-lo explícito ou a construir hipóteses. Envolve levantamento bibliográfico; entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas

com o problema pesquisado; análise de exemplos que estimulem a compreensão. Assume, em geral, as formas de Pesquisas Bibliográficas e Estudos de Caso. (GIL, 1991, p. 42)

- b) do ponto de vista dos procedimentos técnicos constitui-se em pesquisa bibliográfica por ter sido elaborada “a partir de material já publicado, constituído principalmente de livros, artigos de periódicos e atualmente com material disponibilizado”. (GIL, 1991, p. 27)

O fundamento metodológico empregado neste trabalho encontra-se alicerçado na busca pela valorização de resíduos, esta exaustivamente comentada na PNRS e definida por Jardim, Valverde e Yoshida (2012) como princípio de reconhecimento do valor do resíduo sólido reutilizável e reciclável, onde se afirma diretamente que esses resíduos têm valor econômico. Acrescenta ainda que esse bem tem valor social, pois gera trabalho e renda; e, finalmente, registra que a reutilização e reciclagem são promotoras de cidadania.

3.2 DESCRIÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO: MUNICÍPIO DE JACAREÍ – SP

Segundo o Plano de Limpeza Urbana do Município de Jacareí – Revisão e Adequação, a Vila de Jacareí foi fundada em 1653, vindo a se tornar Município em 1849 (JACAREÍ, 2007, p. 13).

Apresenta por municípios limítrofes São José dos Campos, Guararema, Santa Branca, Jambeiro, Paraibuna, Igaratá e Santa Isabel (JACAREÍ, 2007, p. 13-14).

3.2.1 Aspectos Geográficos

O Município de Jacareí ocupa uma área de 463 km², estando localizado no nordeste do Estado de São Paulo, latitude 23°17'49" e longitude 45°58'09", no início da Bacia do Rio Paraíba do Sul, entre dois principais centros urbanos, 80 km de São

Paulo e 350 km do Rio de Janeiro. Seu relevo é irregular sendo formado por morros, colinas e várzeas. Apresenta uma altitude média de 580 m acima do nível do mar, sendo 400 m a mínima e 882 m a máxima, conforme Plano de Limpeza Urbana do Município de Jacareí – Revisão e Adequação (JACAREÍ, 2007, p. 14).

A Figura 1 mostra a localização do município, de acordo com a Prefeitura Municipal de Jacareí em seu Plano de Limpeza Urbana do Município de Jacareí – Revisão e Adequação (JACAREÍ, 2007).



FIGURA 1 – LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE JACAREÍ
FONTE: JACAREÍ (2004, p. 7).

A partir do Quadro 1 é possível observar a divisão territorial no município de Jacareí, onde a área rural apresenta o valor mais expressivo.

Tipo de área	Metragem
Área rural	368 km ²
Área urbanizada	64 km ²
Área inundada	31 km ²
Área total	463 km ²

QUADRO 1 – DIVISÃO TERRITORIAL

FONTE: JACAREÍ (2007, p. 14).

A regionalização estabelecida no Plano Diretor de Desenvolvimento Territorial - Lei Complementar nº 49/2003 (Jacareí, 2003) pode ser observada conforme a Figura 2.

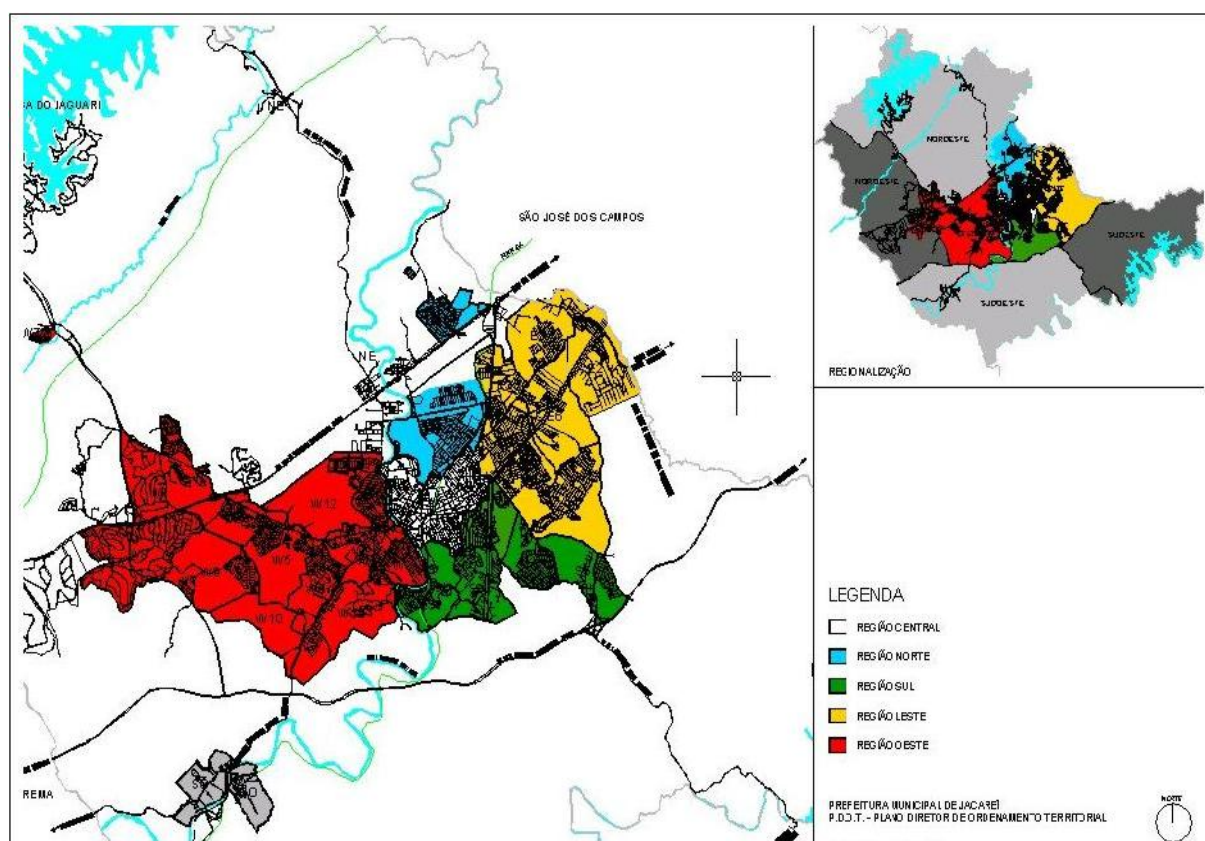


FIGURA 2 – MAPA DE REGIONALIZAÇÃO DA ÁREA URBANA EM JACAREÍ

FONTE: JACAREÍ (2004, p. 8).

3.2.2 Aspectos Demográficos

Segundo informações do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística de 2013 (IBGE, 2013) o município possui uma população estimada de 223.064 habitantes distribuída em 164 bairros com taxa de crescimento de 0,84% ao ano conforme dados do SEADE 2010/2012. Outros dados importantes (FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS (SEADE), 2014): densidade demográfica – 464,27 hab/km²; taxa de urbanização (em 2010) – 98,62%. O número de eleitores é de 153.748, de acordo com o TSE em março de 2012 (INSTITUTO GPP, 2012, p. 3).

3.2.3 Aspectos Econômicos

O município conta com uma economia em franco desenvolvimento, com um expressivo número de estabelecimentos em 2005 na ordem de 2.382, distribuídos em industriais, comerciais e de prestação de serviço – sendo 55, 455 e 1.872 respectivamente (JACAREÍ, 2007).

No parque industrial destacam-se as atividades da metalurgia, confecção, serralharia, editorial, gráfica, materiais de construção e produtos químicos.

Possui Produto Interno Bruto (PIB) *per capita* de R\$ 26.923,82 (vinte e seis mil, novecentos e vinte e três reais e oitenta e dois centavos), dados de 2011 (SEADE, 2014), Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) 0,777 (base 2010); e conforme reportagem do DeepAsk (2013) acumulando uma receita pública de R\$ 496.887.207,52 (trezentos e sessenta milhões, cento e cinquenta e dois mil e duzentos e cinquenta e quatro reais).

3.2.4 Aspectos Ambientais

De acordo com o Plano de Limpeza Urbana do Município de Jacareí – Revisão e Adequação (JACAREÍ, 2007, p. 17), o município localiza-se, juntamente com outros 37 municípios, na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) – 02, inserida na Área de Proteção Ambiental da Serra da Mantiqueira, caracterizada pelas atividades de pecuária extensiva além de culturas de milho e arroz e uma intensiva extração de areia dos rios e cavas.

O índice pluviométrico anual gira em torno de 1.300 mm.

Os serviços de saneamento básico como abastecimento de água se dá através de autarquia municipal Serviço Autônomo de Água e Esgoto – SAAE beneficia 97,48% da população, sendo que a coleta de esgoto representa 91,60%. Já a coleta de lixo atende a 99,53% da população, dados referentes ao ano de 2010 (SEADE, 2014).

Segundo o *site* da empresa ENOB, a empresa Ambiental Jacareí Ltda foi contratada em 2010 por 20 + 15 anos na forma de concessão administrativa e caracteriza-se pelos serviços de limpeza pública e manejo de resíduos sólidos, com o encerramento e recuperação da área do aterro sanitário e implantação da Central de Tratamento de Resíduos, e através da varrição manual e mecanizada de vias e logradouros; limpeza de desinfecção de feiras-livres, coleta, transporte, tratamento e destinação final de resíduos sólidos + usina (ENOB, [201-?]).

Atualmente, a destinação final dos resíduos é feita integralmente em aterro sanitário, em uma área licenciada sob Licença Ambiental de Operação nº 57000312, de validade até 07.04.2015, situada na antiga Fazenda Itaguassú com uma dimensão de 660.000 m², onde destes, 93.000 m² estão sendo utilizados e estima-se que estejam depositados quase 700.000 toneladas de resíduos. Existe um projeto de ampliação da área para mais 128.000 m², que deverá comportar um total de 2.200.000 m³ ou 1.758.546 toneladas.

O Município possui coleta seletiva porta a porta disponibilizada para 35 mil residências (RODRIGUES, 2014) e ainda disponibiliza aos munícipes os ECOPONTOS, onde os mesmos podem destinar uma diversidade de resíduos, tendo a empresa concessionária obrigação de prover a gestão destes espaços. As práticas instituídas agregam qualidade aos resíduos selecionados, porém ainda

possuem um resultando irrelevante frente ao efetivamente aproveitado, onde segundo a Prefeitura a coleta seletiva recolhe 148 toneladas de recicláveis por mês sendo que deste montante são comercializados 82%, respectivamente 122 toneladas mensais, resultando em um índice ainda de rejeitos presente na coleta na ordem de 18%¹.

A coleta tradicional captou no ano de 2012 um montante de 47.891 toneladas de resíduos, desta forma, o aproveitamento de recicláveis no município, em convergência ao que tem sido identificado no Brasil, é da ordem de três por cento (3%)².

3.3 CONCEITOS FUNDAMENTAIS

Segundo descrito no Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos no Município de Cachoeirinha – 2012 (PMGIRS) (Cachoeirinha, 2012), elaborado pela Keyassociados Soluções Sustentáveis para a Pró-Sinos – Consórcio Público de Saneamento Básico da Bacia do Rio dos Sinos:

A Gestão Integrada de Resíduos Sólidos é a maneira de conceber, sistematizar, implementar e manter os sistemas de administração de resíduos sólidos. Para cada situação é necessário identificar as características dos resíduos e as peculiaridades da cultura local, para implantar e implementar ações adequadas e compatíveis com a situação.

Os sistemas de gerenciamento integrado são um processo que incluem as ações desde a geração, acondicionamento, coleta seletiva, triagem gerando inclusão social e renda para catadores e economia de água, energia e matérias-primas para a sociedade. Transporte, transferência, tratamento e disposição final dos resíduos sólidos, além da manutenção da limpeza dos logradouros públicos.

A gestão integrada dos resíduos sólidos é um dos elementos do saneamento básico. Os objetivos gerais da gestão de resíduos deve ser a obtenção da máxima redução na geração, no aumento das ações de reutilização e reciclagem e o tratamento adequado para disposição final.

[...]

Neste contexto são extremamente importantes as funções de educação ambiental e antes disso até a sensibilização ambiental, de forma que o trabalho integrado exige a participação da área educacional do município de forma sistêmica.

¹ Informação recebida verbalmente do Eng. Andrea Perruchod, Gerente da Concessão da empresa Concessão Ambiental Jacareí Ltda., em janeiro de 2014.

² Informação recebida verbalmente do Eng. Andrea Perruchod, Gerente da Concessão da empresa Concessão Ambiental Jacareí Ltda., em janeiro de 2014.

A visão sistêmica da gestão integrada dos resíduos sólidos busca integrar todos os procedimentos de saneamento básico dentro de uma visão de sustentabilidade abrangente, envolvendo as dimensões de equidade social, viabilidade econômica e qualidade ambiental. (KEYASSOCIADOS, 2012, p. 18-19)

Conforme o Plano Plurianual 2012-2015 do Ministério da Integração Nacional:

Outro grande desafio setorial está diretamente relacionado à gestão e diz respeito à formulação da política pública de saneamento pelos titulares dos serviços. A aprovação da Lei 11.445/07 trouxe uma série de mudanças para o setor, dentre elas a separação das funções de planejamento, regulação e fiscalização e prestação dos serviços. Assim, as referidas atividades deverão ser desempenhadas, preferencialmente, por atores diferentes: o planejamento deverá ficar a cargo do titular dos serviços, função que é indelegável, enquanto que a prestação dos serviços caberá a um ente ou órgão público municipal, ou estadual, ou consórcio público, ou a uma concessionária pública ou privada. Portanto, com base nas determinações da Lei, os titulares devem elaborar a política pública, que compreende, dentre outros aspectos: a elaboração dos planos de saneamento básico, a definição da forma de prestação dos serviços, a definição dos entes responsáveis pela sua regulação e fiscalização, o estabelecimento de mecanismos de participação e controle social, o estabelecimento do sistema de informações e a fixação dos direitos e deveres dos usuários. (BRASIL, Ministério da Integração Nacional, [2011], p. 7-8)

Estabelecer uma gestão integrada demanda, portanto, a harmonização entre as alternativas tecnológicas e sistemáticas propostas, sendo que estas devem estar ancoradas em uma caracterização do problema e serem planejadas e estabelecidas de tal forma que se complementem.

De acordo com Fricke, Dichtl, Santen, Münnich, Bahr, Hillebrecht e Schulz (2007), a gestão de resíduos sólidos à gestão dos recursos secundários provenientes de resíduos sólidos adquirem uma importância cada vez maior. É por esta razão que se observa uma escassez crescente de matérias-primas em nível mundial enquanto os mercados de matérias-primas secundárias aumentam. Levando isto em consideração, temos como relevante que os planos de gestão de resíduos sólidos assegurem a introdução de processos de tratamento visando estabelecer um fluxo de materiais e, por conseguinte, a potencialização da reciclagem.

Em razão de formar um melhor entendimento sobre os aspectos inerentes a uma boa gestão, tem-se a necessidade de conceituar políticas públicas e sua base

formadora, desta forma temos por parte da Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Paraná um conceito interessante, onde:

Políticas Públicas são conjuntos de programas, ações e atividades desenvolvidas pelo Estado diretamente ou indiretamente, com a participação de entes públicos ou privados, que visam assegurar determinado direito de cidadania, de forma difusa ou para determinado seguimento social, cultural, étnico ou econômico. As políticas públicas correspondem a direitos assegurados constitucionalmente ou que se afirmam graças ao reconhecimento por parte da sociedade e/ou pelos poderes públicos enquanto novos direitos das pessoas, comunidades, coisas ou outros bens materiais ou imateriais. (PARANÁ, [2011], p. 1)

Uma Política Pública voltada ao setor florestal segundo o sistema desenvolvido por Husch³ (1987, p. 88, citado por HOEFLICH; SILVA; SANTOS, 2007, p. 19) é determinada por elementos inter-relacionados:

[...] uma política florestal de um país é melhor entendida como um sistema de elementos inter-relacionados. Este sistema (ou política) estabelece a forma como um governo executa seus programas florestais e influencia ou controla como a população faz uso de seus recursos florestais.

[...] é possível preparar, conferir e revisar a legislação florestal para se verificar se os mecanismos legais existem e quais contribuirão para o alcance dos objetivos propostos. Outras legislações que afetam a atividade florestal, tais como posse da terra, taxação, conservação de água e solo, por exemplo, deverão ser levadas em conta neste processo. É claro que a legislação florestal deverá estar em harmonia com o arcabouço constitucional e as leis básicas do país assim como com os objetivos da política florestal.

Desta forma, firmando um paralelo com as Políticas Públicas voltadas para a gestão sustentável dos resíduos sólidos, temos a formação de um diagrama de Husch adaptado (FIGURA 3). Este diagrama reforça a necessidade de garantir a transversalidade do tema com o intuito, primordial, de sacramentar a sustentabilidade, promovendo uma robusta guinada de rota.

Conforme Freitas (2012), o paradigma da sustentabilidade não serve ao simplista crescimento econômico pelo crescimento, pois supõe políticas propiciatórias à universalização do bem-estar e à coesão social, com regulação protetiva contra as disfunções do mercado e, sempre que necessário, com a tempestiva assimilação das lições de fracassos.

³ HUSCH, B. **Guidelines for forest policy formulation**. Roma: FAO, 1987. (Forestry Paper, n. 81).

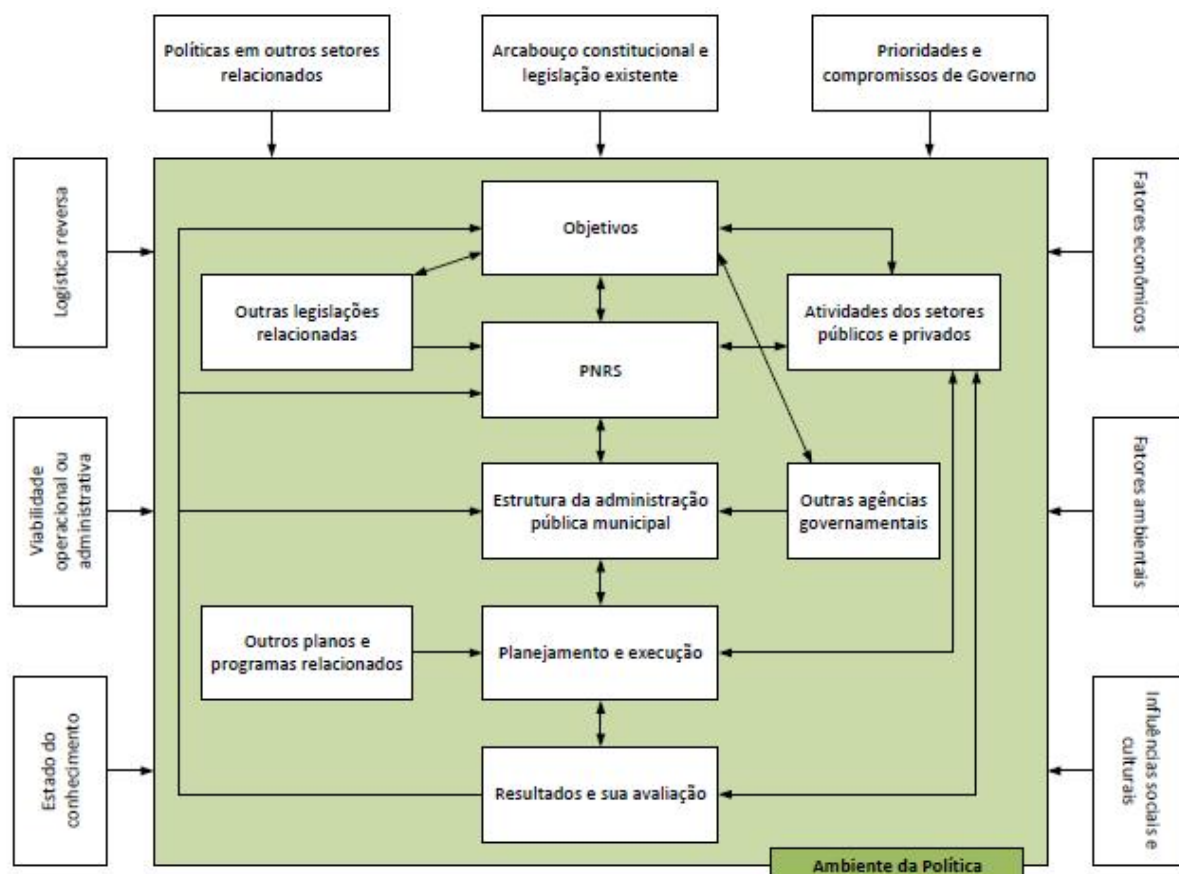


FIGURA 3 – DIAGRAMA DA POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

FONTE: HUSCH⁴ (1987, CITADO POR HOEFlich; SILVA; SANTOS, 2007, p. 20). Adaptado pela autora (2013).

A aplicação do Diagrama de Husch (FIGURA 3) adaptado nos remete ao entendimento de que a Política Nacional de Resíduos Sólidos contempla os objetivos de uma gestão integrada e sustentável dos resíduos e que para sua operacionalização, a administração pública deverá conduzir sua equipe no sentido de estruturá-la tanto para a implementação e otimização quanto para o controle e ajuste dos planos de metas. Tal operacionalização apenas será eficiente se for constituída com base em um planejamento eficaz que corrobore para a execução dos termos firmados na Política e ratificados pelo plano de gestão integrada dos resíduos sólidos urbanos. Os resultados adquiridos nesta nova estrutura demandam avaliação contínua com o intuito de prover melhoria para todo o sistema de forma duradoura.

⁴ HUSCH, B. **Guidelines for forest policy formulation**. Roma: FAO, 1987. (Forestry Paper, n. 81).

3.3.1 Arcabouço Legal Formador da Política Nacional de Resíduos Sólidos

A Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010, institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que é um marco regulatório completo para o setor de resíduos sólidos. A PNRS harmoniza-se com diversas outras leis, compondo o arcabouço legal que influirá na postura da totalidade dos agentes envolvidos no ciclo de vida dos materiais presentes nas atividades econômicas. Está fortemente relacionada com a Lei Federal de Saneamento Básico (Lei nº 11.445/2007), com a Lei de Consórcios Públicos (Lei nº 11.107/2005) e ainda com a Política Nacional de Meio Ambiente e de Educação Ambiental (Lei nº 9.795/1999), entre outros marcos legais importantes (BRASIL, 1999; 2005; 2007; 2010a; 2010b).

A aplicação das disposições da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) traz uma nova sistemática para a gestão de resíduos no país, principalmente no tocante à introdução de tecnologia para a valorização dos resíduos, impondo uma série de novas atividades que devem ser implementadas no curto e médio prazo para adequação das práticas atuais aos termos da Lei, visando fundamentalmente a proteção dos recursos naturais e do clima.

As regras estipuladas na PNRS terminam com a dualidade do antigo sistema coleta-disposição final, inserindo na cadeia dos resíduos algumas obrigações que exigem maior complexidade técnica e principalmente a introdução de tecnologia no setor. Estas regras podem ser observadas nos princípios previstos em seu artigo 6º, nos objetivos do artigo 7º, e na hierarquização de procedimentos do artigo 9º, todos da Lei nº 12.305/2010, como seguem:

Art. 6º. São princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos:

I – a prevenção e a precaução;

II – o poluidor-pagador e o protetor-recebedor;

III – a visão sistêmica, na gestão dos resíduos sólidos, que considere as variáveis ambiental, social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública;

IV – o desenvolvimento sustentável;

V – a ecoeficiência, mediante a compatibilização entre o fornecimento, a preços competitivos, de bens e serviços qualificados que satisfaçam as necessidades humanas e tragam qualidade de vida e a redução do impacto ambiental e do consumo de recursos naturais a um nível, no mínimo, equivalente à capacidade de sustentação estimada do planeta;

VI – a cooperação entre as diferentes esferas do poder público, o setor empresarial e demais segmentos da sociedade;

VII – a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;

VIII – o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania;

IX – o respeito às diversidades locais e regionais;

X – o direito da sociedade à informação e ao controle social;

XI – a razoabilidade e a proporcionalidade.

Art. 7º. São objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos:

I – proteção da saúde pública e da qualidade ambiental;

II – não geração, redução, reutilização, reciclagem e **tratamento dos resíduos sólidos**, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos;

III – estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços;

IV – adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais;

V – redução do volume e da periculosidade dos resíduos perigosos;

VI – incentivo à indústria da reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados;

VII – gestão integrada de resíduos sólidos;

VIII – articulação entre as diferentes esferas do poder público, e destas com o setor empresarial, com vistas à cooperação técnica e financeira para a gestão integrada de resíduos sólidos;

IX – capacitação técnica continuada na área de resíduos sólidos;

X – regularidade, continuidade, funcionalidade e universalização da prestação dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, com adoção de mecanismos gerenciais e econômicos que assegurem a recuperação dos custos dos serviços prestados, como forma de garantir sua sustentabilidade operacional e financeira, observada a Lei nº 11.445, de 2007;

XI – prioridade, nas aquisições e contratações governamentais, para:

a) produtos reciclados e recicláveis;

b) bens, serviços e obras que considerem critérios compatíveis com padrões de consumo social e ambientalmente sustentáveis;

XII – integração dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis nas ações que envolvam a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;

XIII – estímulo à implementação da avaliação do ciclo de vida do produto;

XIV – incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluídos a recuperação e o aproveitamento energético;

XV – estímulo à rotulagem ambiental e ao consumo sustentável.

Art. 9º. Na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, **tratamento dos resíduos sólidos** e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

§ 1º **Poderão ser utilizadas tecnologias visando à recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos, desde que tenha sido comprovada sua viabilidade técnica e ambiental** e com a implantação de programa de monitoramento de emissão de gases tóxicos aprovado pelo órgão ambiental. (BRASIL, 2010b; grifos nossos.)

3.3.2 Planejamento

O governo federal em Manual para elaboração do plano de gestão integrada de resíduos sólidos dos consórcios públicos (BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, 2010), emitido pelo Ministério de Meio Ambiente, propõe uma itemização para a elaboração do Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (QUADRO 2) que contempla de forma macro: introdução, diagnóstico e planejamento das ações onde o conteúdo mínimo do plano municipal é tratado no artigo 19 da Lei nº 12.305/2010; e o Decreto nº 7.404/2010, que a regulamenta, apresenta, no artigo 51, o conteúdo mínimo, simplificado em 16 itens, a ser adotado nos planos municipais de municípios com população até 20 mil habitantes anunciada no Censo 2010 coordenado pelo IBGE (BRASIL, 2010a; 2010b).

Atividade	Conteúdo
Diagnóstico	<p>Situação dos resíduos sólidos gerados no respectivo território, contendo a origem, o volume, a caracterização e as formas de destinação e disposição final adotadas;</p> <p>Identificação de áreas favoráveis para disposição final de rejeitos;</p> <p>Identificação das possibilidades de implantação de soluções consorciadas ou compartilhadas com outros Municípios, considerando economia de escala, a proximidade dos locais estabelecidos e as formas de prevenção dos riscos ambientais;</p> <p>Identificação dos geradores de resíduos sujeitos à elaboração de plano de gerenciamento específico; ou sistema de logística reversa.</p>
Prognóstico	<p>Estudo do perfil da população e as tendências de crescimento ao longo do período que se pretende como alcance do projeto;</p> <p>Tipos de manejo, de fluxos, de tipos, quantidades e capacidades das unidades de tratamento dos resíduos, disposição final dos rejeitos.</p>
Objetivos e metas	<p>Metas de redução, reutilização, coleta seletiva e reciclagem, entre outras, com vistas a reduzir a quantidade de rejeitos encaminhados para disposição final;</p> <p>Metas de cobertura de cada tipo de serviço, coleta domiciliar, coleta seletiva de secos, coleta seletiva de orgânicos para grandes geradores;</p> <p>Metas de cobertura das campanhas de educação ambiental e mobilização social.</p>

(continua)

Atividade	Conteúdo
Programas, projetos e ações	<p>Capacitação técnica voltada para sua implementação e operacionalização;</p> <p>Educação ambiental que promovam a não geração, a redução, a reutilização e a reciclagem de resíduos sólidos;</p> <p>Participação dos grupos interessados, em especial das cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis formadas por pessoas físicas de baixa renda, se houver;</p> <p>Controle e a fiscalização, no âmbito local, da implementação e operacionalização dos planos de gerenciamento de resíduos sólidos dos sistemas de logística reversa;</p> <p>Formas de participação do poder público local na coleta seletiva e na logística reversa e a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;</p> <p>Indicadores de desempenho operacional e ambiental dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos.</p>
Procedimentos operacionais	<p>Serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, incluída a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos;</p> <p>Transporte e outras etapas do gerenciamento de resíduos sólidos;</p> <p>Mecanismos para a criação de fontes de negócios, emprego e renda, mediante a valorização dos resíduos sólidos;</p> <p>Sistema de cálculo dos custos da prestação dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, bem como a forma de cobrança desses serviços;</p> <p>Formas e limites da participação do poder público local na coleta seletiva e na logística reversa, respeitada a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;</p> <p>Controle e a fiscalização, no âmbito local, da implementação e operacionalização dos planos de gerenciamento de resíduos sólidos e dos sistemas de logística reversa;</p> <p>Ações preventivas e corretivas, incluindo programa de monitoramento;</p> <p>Identificação dos passivos ambientais relacionados aos resíduos sólidos, incluindo áreas contaminadas, e respectivas medidas saneadoras.</p>
Responsabilidades	Definição das responsabilidades para a implementação e operacionalização do plano.

QUADRO 2 – CONTEÚDO MÍNIMO PARA OS PLANOS DE GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOS CONSÓRCIOS PÚBLICOS – MUNICÍPIOS E DISTRITO FEDERAL
 FONTE: BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (2010, p. 24).

3.4 FONTES DE PESQUISA

Tem-se como fonte de pesquisa, um rol exemplificativo onde foram priorizadas as informações disponibilizadas pela Prefeitura Municipal de Jacareí, em especial o “*Plano de Limpeza Urbana*” (JACAREÍ, 2007), as informações coletadas

juntamente aos fornecedores de tecnologias e oriundas do relatório elaborado para o Ministério Alemão de Meio Ambiente pela Universidade Técnica de Braunschweig em março de 2013 “*Steigerung der Energieeffizienz in der Verwertung biogener Reststoffe*” (FRICKE, 2013); relatório emitido em 2007 pela Universidade de Técnica de Braunschweig denominado “*Aplicação do tratamento mecânico-biológico de resíduos no Brasil*” (FRICKE; DICHTL; SANTEN; MÜNNICH; BAHR; HILLEBRECHT; SCHULZ, 2007), “*Relatório Técnico: Avaliação da Proposta de Tratamento Mecânico e Biológico para a cidade de Jacareí*”, emitido em 2013 pela PUC do Rio de Janeiro (DE CAMPOS, 2013, p. 11), e documento do Ministério de Meio Ambiente, editado em 2011, denominado “*Guia para a elaboração dos planos de gestão de resíduos sólidos*” (BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, 2011), ainda outras informações contidas em diversas fontes bibliográficas.

4 RESULTADOS

Este capítulo foi desenvolvido de forma a gerar resultados que atendam aos objetivos específicos elegidos, estando subdividido em: Caracterização de Resíduos Sólidos Domiciliares em Jacareí; Mapeamento Tecnológico; Matriz de Impacto Tecnológico e Rota Tecnológica para a Gestão Sustentável de Resíduos Sólidos Domiciliares.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES EM JACAREÍ

Conceituar uma rota tecnológica demanda o conhecimento do binômio substrato x subproduto. Isto determina a necessidade de mapeamento qualitativo e quantitativo dos resíduos gerados no município para fins de entendimento da potencialidade de valorização dos mesmos, implicando tanto na definição dos sistemas tecnológicos quanto no dimensionamento da planta. Desta forma, uma gestão racional de resíduos sólidos pressupõe um conhecimento sistemático e aprofundado das suas características, quer quantitativas, quer qualitativas.

Para isto fez-se necessário levantar as características gravimétricas e quantitativas dos resíduos gerados no município de Jacareí, identificando o percentual de cada componente e possibilitando a projeção de sua geração durante os próximos anos, assim embasando um leque de técnicas mais adequadas de valorização e apropriadas para este município.

De forma geral, os dados disponíveis no mercado brasileiro relativos à caracterização dos resíduos são frágeis e defasados. Frágeis por muitas vezes resultarem de campanhas incipientes que não demonstram a realidade do município por estar amparadas em intervenções extremamente pontuais e podemos dizer econômicas, no sentido em que se realizam campanhas aquém das necessárias para garantir segurança aos dados coletados. Ainda, a fragilidade se reflete durante a realização da campanha onde há pouca experiência para identificar o tipo de resíduo, desta forma por muitas vezes confundindo suas condições qualitativas e nomeando grupos de compilação erroneamente.

O espectro da fragilidade das campanhas também é influenciado durante a fase de planejamento onde definem-se padrões de amostragem que acabam não refletindo a influência de cada região do município, ou seja, sabedores de que a geração de resíduos, seja qualitativa, seja quantitativa é influenciada diretamente pela condição econômica da população, onde condições de renda inferiores possuem maior potencial para geração de orgânicos em detrimento da população de renda superior que gera mais resíduos recicláveis, basicamente oriundos das embalagens, temos que durante a fase de planejamento das campanhas de caracterização este fato deverá ser tomado em consideração e as amostras distribuídas conforme o impacto que a diferença de renda poderá acarretar.

O Quadro 3 apresenta a caracterização do percentual gravimétrico dos resíduos estimado para o município de Jacareí, demonstrando alto potencial de valorização tanto das frações orgânicas quanto das recicláveis.

		Prognóstico 2023 (PUC)	Gravimetria 2012 (região)	Gravimetria 2006 (Jacareí)
Matéria Orgânica	%	49,5	59,9	60,6
Papel, Papelão e Jornal	%	6,6	3,3	8,6
Embalagem longa vida	%	2,6	1,3	1,3
Embalagem Pet	%	2,0	0,5	1,2
Isopor	%	1,2	0,3	
Plástico Mole	%	8,0	7,6	13,4
Plástico Duro	%	7,2	6,5	3,5
Metais Ferrosos	%	1,8	0,9	1,1
Vidros	%	1,1	1,1	2,4
Terra e Pedra	%	1,6	1,6	
Madeira	%	1,1	1,1	1,4
Trapos e Panos	%	2,9	2,2	3,1
Diversos	%	5,6	5,3	2,9
Alumínio etc.	%	0,8	0,4	
Borracha	%	0,2	0,2	0,5
Sanitários	%	6,0	6,0	
Perdas no Processo	%	1,8	1,8	

QUADRO 3 – CARACTERIZAÇÃO GRAVIMÉTRICA DOS RESÍDUOS NO MUNICÍPIO DE JACAREÍ E PROGNÓSTICO PARA 2023

FONTE: DE CAMPOS (2013, p. 11).

O Quadro 4 apresenta o volume de lixo gerado no município nos últimos 17 anos.

Ano	Toneladas
1995	28.686,00
1996	32.500,00
1997	35.986,00
1998	37.233,00
1999	36.099,00
2000	36.632,00
2001	37.308,00
2002	36.362,00
2003	34.791,60
2004	36.259,77
2005	36.295,78
2006	37.117,39
2007	37.513,46
2008	39.405,50
2009	43.257,03
2010	43.809,44
2011	46.564,76
2012	47.891,50

QUADRO 4 – VOLUME DO LIXO GERADO EM TON/ANO

FONTE: A autora (2014).

NOTA: Elaboração a partir de informações contidas no Plano Municipal de Saneamento Integrado de Jacareí (JACAREÍ, 2013).

Conforme comentado na *“Apresentação técnica para módulo tecnologias ambientais aplicado no curso de mestrado Engenharia Urbana e Ambiental na PUC-Rio”* (FRICKE; PEREIRA, 2013) atualmente na Europa, encontra-se em evidência as técnicas de incineração e tratamento mecânico-biológico por serem entendidas, tanto pelo mercado quanto pelo meio científico, como fontes eficientes de preservação de recursos naturais primários e de valorização energética.

Em relatório emitido *“Equalização de Tecnologias: proposição para Tratamento e Valorização de Resíduos em Jacareí – SP”* (FRICKE; PEREIRA, 2012) temos que experiências em plantas de incineração para pequenas quantidades são raras no mercado europeu, sendo este fato justificado nos altos custos atrelados a

uma planta de pequeno porte, onde se estima para uma planta com capacidade para 60.000 t/a um custo de investimento variando na ordem de 115 até 128 milhões de €, com um custo de operação de 200 €/t.

Em relatório denominado “*Aplicação do tratamento mecânico-biológico de resíduos no Brasil*” define-se que:

O tratamento mecânico-biológico de resíduos (TMB) representa uma tecnologia flexível e adaptável para o tratamento de resíduos sólidos urbanos, com a qual se podem obter os objetivos de tratamento mais diversos. Pode ser considerado como eficiente do ponto de vista econômico e permite a utilização dos mais diversos tamanhos de instalações. No contexto dos desenvolvimentos acima mencionados pode ser considerado como uma tecnologia chave. Os planos adaptados ao TMB despertam grande interesse em muitos países emergentes e em desenvolvimento como o Brasil. (FRICKE; DICTL; SANTEN; MÜNNICH; BAHR; HILLEBRECHT; SCHULZ, 2007, p. 1)

Neste viés, considerando a geração de resíduos no município de Jacareí na ordem de 48.000 toneladas por ano, afastou-se a avaliação da técnica de incineração com base em sua inviabilidade econômica e ambiental. Esta decisão se justifica pelo alto custo da incineração quando aplicada em pequena escala, aliada ao potencial de carga orgânica com elevado teor de umidade e ainda ao potencial de recicláveis presente na massa.

Avaliando-se a caracterização de resíduos retratada no Quadro 3 temos como oportuno o emprego de tecnologias sob o prisma restrito ao tratamento mecânico-biológico, enfocando técnicas de segregação de recicláveis e em seguida a possibilidade de tratamento biológico seja na forma de biodigestão contínua ou descontínua, considerando entre elas sua capacidade de enquadramento como fonte de geração de energia renovável seja na forma de tratamento aeróbio como a compostagem ou secagem.

4.2 DESCRIÇÃO DAS TECNOLOGIAS EXISTENTES PARA A VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES

Para o desenvolvimento do trabalho faz-se necessário elencar as tecnologias disponíveis no mercado de valorização de resíduos. Este capítulo tem

por finalidade expor o estado da arte das tecnologias bem como suas particularidades.

4.2.1 Aspectos Gerais

Conforme preconizado em *“Equalização de Tecnologias: Proposição para Tratamento e Valorização de Resíduos em Jacareí – SP”*:

Os setores de gerenciamento de resíduos sólidos discutem hoje o resíduo como elemento chave para a gestão racional dos recursos naturais. A título exemplificativo, temos a Diretiva de Resíduos da Comissão Europeia requerendo, a partir de 2015, que os resíduos orgânicos sejam coletados de forma segregada, visando atender aos seguintes tópicos:

- Proteção do clima – mitigando a emissão de gases de efeito estufa;
- Aumento da eficiência dos recursos naturais – emprego de matéria-prima secundária.

Seguindo a tendência de valorização temos que a PNRS ratificou em suas diretrizes o processo de desenvolvimento e consolidação da efetiva Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos e incentivo à utilização de novas tecnologias de tratamento preliminarmente à disposição final. (FRICKE; PEREIRA, 2012, p. 3)

De acordo com Castilhos Junior, Medeiros, Firta, Lupatini e Silva (2006), o plano de gerenciamento de resíduos deve ser construído de modo participativo para se assegurar uma maior sustentabilidade ao Sistema de Limpeza Urbana (SLU). Deve compreender atividades como a promoção da não geração de resíduos e reaproveitamento na fonte, a coleta e transporte, valorização e tratamento até a disposição final.

Dentro deste contexto, a transformação de resíduos e rejeitos em energia ganhou importância, basicamente através da incineração. Também no escopo da energia renovável, a fração orgânica – menos favorável para a incineração – gera interesse da comunidade científica, de gestores públicos e do setor privado, através da utilização de tecnologias tradicionais para a transformação da biomassa em energia, como a fermentação e a produção de substratos para melhoramento de solos, através da compostagem.

Sabe-se, portanto, que a expressiva geração de resíduos orgânicos em aterros sanitários implica em uma série de riscos ambientais caso não seja

manejada de forma adequada, tais como: contaminação de mananciais, solo e subsolo por lixiviados, recalques e escorregamentos de aterros, combustão espontânea e emissão de gases de efeito estufa (BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia, 2006, p. 4-5).

Havendo uma gestão adequada das frações orgânicas não apenas controlam-se os mencionados riscos, mas também se garante a transformação da massa orgânica em material condicionante de solos e em energia.

É de domínio público que a Alemanha é tida como celeiro de tecnologias para a valorização de resíduos, expandindo suas atuações em todo o mercado europeu, asiático e africano. Atualmente sua participação no mercado de tratamento de resíduos transpassou o simples fornecimento de maquinários e tecnologias alcançando ações que vão desde desenvolvimento e implementação de sistemas de monitoramento até a definição de fontes jurídicas para regulamentação dos mercados de resíduos, situação esta que pode ser apontada em nosso artigo 9º da PNRS que é replica da normativa alemã para gestão de resíduos.

A Figura 4 a seguir, apresenta a atual visão global sobre o gerenciamento e valorização de resíduos sólidos urbanos.

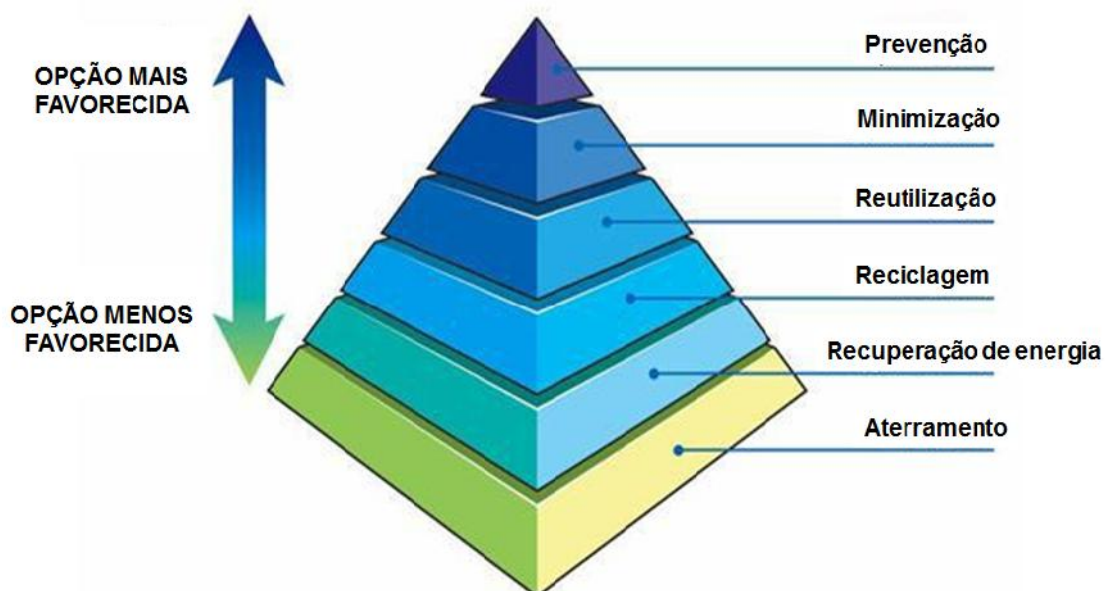


FIGURA 4 – PIRÂMIDE DE DISTRIBUIÇÃO DE GERENCIAMENTO E VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM NÍVEL GLOBAL
FONTE: FRICKE E PEREIRA (2012, p. 41).

Desse modo, a partir da análise da Figura 4, é evidente a importância da implantação de planos de gerenciamento de resíduos sólidos que priorizem medidas preventivas. Como medida preventiva pode-se destacar as ações de reduzir, reaproveitar, enquanto tratar e dispor os resíduos gerados pode ser considerado uma ação corretiva. Essas ações são definidas por Valle (2002, p. 97) como sendo:

- *Reduzir*: abordagem preventiva, orientada para diminuir o volume e o impacto causado pelos resíduos. Em casos extremos pode-se eliminar completamente o resíduo pela prevenção de sua geração.
- *Reaproveitar*: abordagem corretiva, direcionada para trazer de volta ao ciclo produtivo matérias-primas, substâncias e produtos extraídos dos resíduos depois que eles já foram gerados. A reutilização e a reciclagem são formas de reaproveitar resíduos.
- *Tratar*: abordagem técnica que visa alterar as características de um resíduo, neutralizando seus efeitos nocivos. O tratamento pode conduzir a uma valorização do resíduo, com abordagem de cunho econômico dirigido para extrair valores materiais ou energéticos, que contribuem para diminuir os custos de tratamento e, em alguns casos, pode gerar receitas superiores a esses custos.
- *Dispor*: abordagem passiva, orientada para conter os efeitos dos resíduos, mantendo-os sob controle, em locais que devem ser monitorados.

Após a adoção de opções de redução na fonte e reaproveitamento, deve-se buscar o tratamento dos resíduos de modo a reduzir o seu volume, carga orgânica ou toxicidade.

Segundo Schmidt (2011) em relatório "*Organic Waste to Energy: Estudo sobre o Aproveitamento Energético da Fração Orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil – Tecnologias, Estado da Arte e Perspectivas*", pode-se definir energia renovável como fontes de energia que se renovam constantemente e com rapidez através de processos naturais, como, por exemplo, energia solar, eólica, geotérmica, marítima e de biomassa.

Ainda define Schmidt (2011), que o aproveitamento energético da biomassa se dá através de processos de transformação físico-químicos (carbonização, gaseificação, pirólise), termoquímicos (prensagem, extração) e bioquímicos (fermentação alcoólica, decomposição aeróbia e anaeróbia).

A Figura 5 apresenta a utilização dos resíduos como fonte energética, alguns processos de conversões químicas e bioquímicas e seus respectivos produtos.

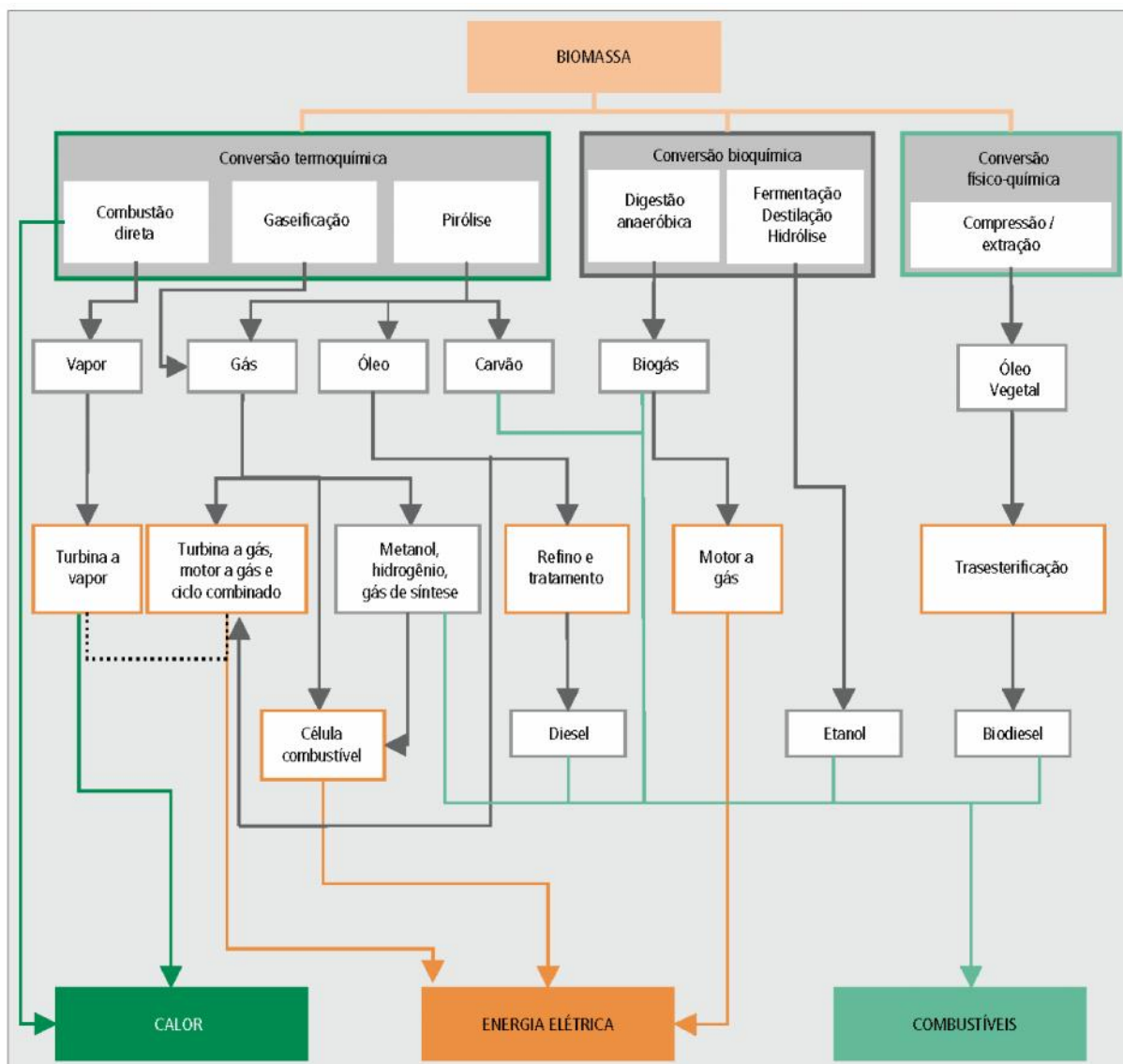


FIGURA 5 – ROTAS TECNOLÓGICAS DE CONVERSÃO ENERGÉTICA DE BIOMASSA
 FONTE: BRASIL. Ministério de Minas e Energia (2007, p. 105).

Conforme apresentou Schmidt (2011) em relatório “*Organic Waste to Energy: Estudo sobre o Aproveitamento Energético da Fração Orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil – Tecnologias, Estado da Arte e Perspectivas*”:

Existem três rotas tecnológicas para a utilização do resíduo como fonte energética. Uma delas é a combustão direta dos resíduos sólidos. Outra é a gaseificação por meio da termoquímica (produção de calor por meio de

reações químicas). Finalmente, a terceira (mais utilizada para a produção do biogás) é a reprodução artificial do processo natural em que a ação de micro-organismos em um ambiente anaeróbio realiza a decomposição da matéria orgânica e, em consequência, a produção do biogás. (SCHMIDT, 2011, p. 39)

A recuperação de biogás – seja gerado em aterros energéticos ou em biodigestores – e consequente geração de energia por combustão do gás deve estar atrelada a uma destinação otimizada de resíduos sólidos. Dentro de uma gestão integrada de resíduos que engloba coleta seletiva, reuso, reciclagem de matérias e captação de biogás, têm-se um balanço energético fortemente positivo, pois acumula a economia de energia advinda da produção de bens a partir de matéria-prima secundária, em vez de extração de matéria-prima virgem, ainda os ganhos energéticos em função de uma logística otimizada e substitui os fertilizantes químicos pelo uso do substrato da biodigestão em projetos de agricultura periurbana.

O estudo *Renewables (2007) Global Status Report*, da REN21, informa que, apesar de pequena, a aplicação comercial de usinas a biogás nos últimos anos tem apresentado significativo crescimento nos países em desenvolvimento, particularmente na China e Índia. Países desenvolvidos, como Alemanha e Estados Unidos, também têm utilizado os resíduos urbanos e industriais para a produção de energia. (SCHMIDT, 2011, p. 18)

4.2.2 Tecnologia de Biodigestão – Tratamento Biológico Anaeróbio

Após o conhecimento da atividade desses microrganismos, os produtos das indústrias derivados do leite e de bebidas alcoólicas fazem parte do setor mais importante da bioindústria de alimentos (ZEHNDER; SVENSSON, 1986⁵ citados por FORESTI; FLORÊNCIO; VAN HAANDEL; ZAIAT; CAVALCANTI, 1999, p. 29).

A digestão anaeróbia é um processo biológico no qual um consórcio de diferentes morfotipos de microrganismos, na ausência de oxigênio molecular, promove a transformação de compostos orgânicos complexos (carboidratos, proteínas e lipídios) em produtos mais simples como o metano e gás carbônico. Nos sistemas de tratamento anaeróbio de resíduos sólidos, procura-se acelerar o processo da digestão, criando-se condições favoráveis para os microrganismos, tanto no que se refere à etapa de projeto quanto na de operação (BRASIL/MCT, 2006).

Conforme apresentado no relatório “*Equalização de Tecnologias: Proposição para o Tratamento e Valorização de Resíduos em Jacareí – SP*”:

⁵ ZEHLER, A. J. B., SVENSSON, B. H. Life without oxygen: what can and what cannot? *Experientia*, v. 42, n. 11-12, p. 1197-1205, dez. 1986. DOI: 10.1007/BF01946391.

O processo de fermentação ganhou nos últimos anos cada vez mais destaque no mercado de gestão de resíduos impulsionado pela valorização das energias provenientes de fontes regenerativas. Tanto a tecnologia de fermentação como os diversos conceitos de utilização de biogás alcançaram maturidade no mercado e superaram as dificuldades operacionais iniciais.

As técnicas de fermentação encontram-se consolidadas e disponíveis no mercado diferindo quanto ao teor de frações secas que alimentarão o fermentador, temperatura de processo bem como quanto ao fluxo de resíduos. As técnicas variam de forma geral entre a fermentação seca, úmida e de forma específica entre fermentação seca contínua e descontínua.

Os processos de fermentação são designados como secos ou úmidos segundo o índice de substância sólida presentes em seu interior, onde processos de fermentação seca operam com índices de 20 a 55% de substâncias secas.

No processo de fermentação úmida, o substrato é misturado até um índice de substância seca de até 20% através da adição de líquido, geralmente água oriunda da prensagem das frações fermentadas e que recircula no processo, por vezes é necessária adição suplementar de água da rede. Esta mistura ocorre até que seja possível misturar e bombear a massa. Nessa etapa processual são excluídos materiais inertes como areias e pedras, que podem ocasionar problemas técnicos ao processo e quando são excluídos permitem um enriquecimento orgânico da massa.

Nos últimos anos foram adaptados processos inovadores para a preparação de substratos através do processo úmido. Variantes foram instituídas nos processos na forma de introdução de frações que garantam um maior ganho energético como os resíduos verdes. Ainda introduziu-se o sistema de compostagem ao término da fermentação. Também se otimizou a gestão dos líquidos processuais buscando sua recirculação e melhorando o sistema de prensagem. O objetivo do processo de percolação é atingir uma quantidade de percolados capazes de transportar os componentes orgânicos presentes nos resíduos na fase líquida que serão empregados durante a fermentação úmida.

Os processos de fermentação úmida mostraram bons resultados especialmente no aproveitamento de resíduos alimentícios e resíduos sólidos biogênicos comerciais, mas não para resíduos domiciliares. (FRICKE; PEREIRA, 2012, p. 43-45)

Na Alemanha, segundo artigo técnico publicado na edição de dezembro da revista técnica Müll und Abfall (FRICKE; HEUSSNER; HUTTNER; TURK; PEREIRA; BAUER; BIDLINGMAIER, 2013b), atualmente, são operadas 63 plantas de digestão anaeróbia para o tratamento de resíduos orgânicos e verdes (capacidade de 1,36 milhões de t/a), assim como 12 plantas TMB para o tratamento de resíduos sólidos urbanos (capacidade de 680.000 t/a), resultados esses que podem ser observados no Quadro 5.

De acordo com a experiência profissional da autora desta pesquisa é possível afirmar que os conceitos tecnológicos das plantas de tratamento, tanto para o processamento dos resíduos orgânicos biológicos quanto para os domiciliares,

geralmente aplicam as mesmas tecnologias. Desta forma, processos de tratamento contemplam etapas que vão desde o preparo e beneficiamento do material descarregado até a seleção de contaminantes, para garantir não apenas a qualidade dos produtos gerados, mas também reduzir a possibilidade de distúrbios mecânicos no fluxo do processo.

Valorização de resíduos orgânicos e verdes	
Capacidade de tratamento instalada	12,0 milhões t/a
Número de plantas de compostagem Quantidades processadas	990 9,6 milhões t/a
Número de plantas de fermentação Capacidade de processamento da fase de fermentação	63 1,36 milhões t/a
Tratamento de resíduos domiciliares (TMB)	
Capacidade de tratamento instalada	5,76 milhões t/a
Quantidades de plantas	46
Número de plantas de fermentação Capacidade de processamento da fase de fermentação	12 0,68 milhões t/a

QUADRO 5 – STATUS QUO RELATIVO ÀS INSTALAÇÕES DE TRATAMENTO PARA RESÍDUOS ORGÂNICOS E VERDES (BASE 2012) ASSIM COMO AS INSTALAÇÕES DE TRATAMENTO MECÂNICO-BIOLÓGICO DE RESÍDUOS DOMICILIARES (BASE 2011), TODAS AS INSTALAÇÕES SITUADAS NA ALEMANHA
FONTE: FRICKE (2013, p. 131).

As técnicas de fermentação e os procedimentos de operação tiveram desenvolvimento significativo nos últimos anos, onde durante a década de 1990 prevaleceu a introdução de técnicas úmidas com implantações proporcionais dos estágios únicos ou duplos.

Avaliando os dados captados no relatório “*Steigerung der Energieeffizienz in der Verwertung biogener Reststoffe. Endbericht zu Förderprojekt 03 KB 022*” (FRICKE, 2013), a partir do ano 2000, foram instalados quase que exclusivamente os processos de fermentação secos. Atualmente esta tendência permanece e pode ser notada nas plantas que estão em fase de construção, ou seja, todas as plantas em construção privilegiam as técnicas de fermentação a seco.

Conforme retratado no relatório, das 63 plantas de fermentação, 46 são operadas a partir do método seco. Desde 2004, 36 plantas foram construídas com processos secos e apenas cinco com processos úmidos (QUADRO 6).

	Quantidade							
	Total	antes de 1995	1995-1997	1998-2000	2001-2003	2004-2006	2007-2009	2010-2011
Total	63	1	11	9	1	10	18	13
Processo úmido	17	1	7	4	0	4	1	0
Um estágio	8	0	4	2	0	1	1	0
Dois estágios	9	1	3	2	0	3	0	0
Processo seco	46	0	4	5	1	6	17	13
Contínuo	21	0	3	5	1	3	5	4
Descontínuo	25	0	1	0	0	3	12	9
Um estágio	54							
Dois estágios	9							

QUADRO 6 – PERÍODO DE OPERAÇÃO DE PLANTAS DE FERMENTAÇÃO PARA RESÍDUOS ORGÂNICOS E VERDES, DIFERENCIADAS SEGUNDO OS TIPOS DE TÉCNICA E DE OPERAÇÃO

FONTE: FRICKE (2013, p. 130).

Nos últimos cinco anos identificou-se também na Europa a mesma tendência que a demonstrada na Alemanha, onde os processos secos tiveram suas implementações privilegiadas. Esta tendência torna-se mais evidente quando são avaliadas as plantas de fermentação voltadas para o tratamento dos resíduos domiciliares (DE BAERE; MATTHEEUWS, 2010⁶, citados por FRICKE, 2013).

Considerando os procedimentos de operação, respectivamente estágio único ou duplo, para a fermentação de resíduos sólidos, destaca-se a tendência de

⁶ DE BAERE, L., MATTHEEUWS, B. Anaerobic digestion in Europe: State of the art. In: **7th International Conference on Organic Resource in the Carbon Economy ORBIT 2010**; June 29 July 3; Heraklion, Crete, 2010.

utilização do método seco em detrimento do processo por via úmida. Assim, processos em duas fases, inevitavelmente, se tornarão menos importantes.

Em todos os tipos de fermentadores tem-se o processo de sedimentação de materiais pesados como uma das perturbações mais frequentes, fazendo com que se intensifique a busca por processos que minimizem a presença dessas substâncias no corpo do fermentador. Mesmo que medidas mitigadoras sejam empregadas, deve-se considerar a necessidade de abertura do fermentador para retirada de sedimentos, estes encaminhados para aterramento. Neste contexto, há necessidade de disposição de peças de reposição para um ajuste rápido do equipamento, quando do seu desgaste ocasionado pela alteração das viscosidades e pela presença de materiais abrasivos que podem comprometer o funcionamento do eixo de mistura do fermentador (DE CAMPOS, 2013, p. 21).

A Figura 6 mostra o desenvolvimento ao longo dos anos de tecnologias de fermentação secas e úmidas na Europa.

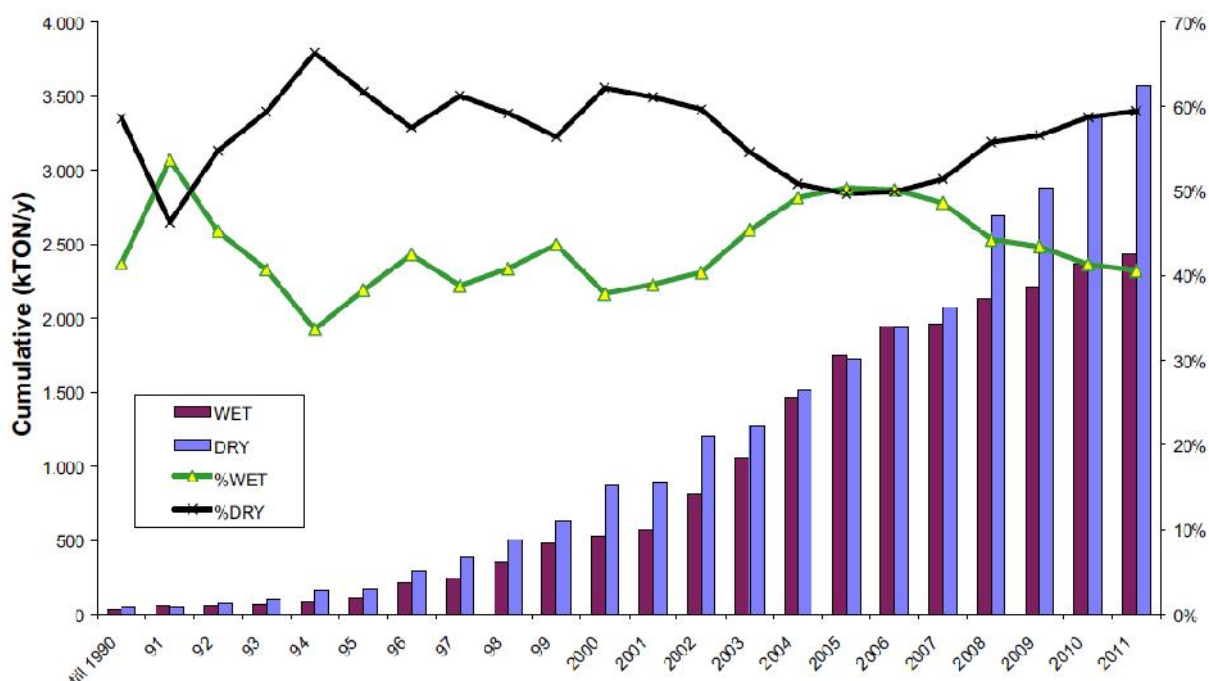


FIGURA 6 – DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIAS DE FERMENTAÇÃO SECAS E ÚMIDAS NA EUROPA

FONTE: DE BAERE E MATTHEEUWS (2010⁷, CITADOS POR FRICKE, 2013, p. 131).

⁷ DE BAERE, L., MATTHEEUWS, B. Anaerobic digestion in Europe: State of the art. In: **7th International Conference on Organic Resource in the Carbon Economy ORBIT 2010**; June 29 July 3; Heraklion, Crete, 2010.

4.2.3 Classificação do Processo de Biodigestão

Os critérios técnicos para a escolha de um processo de biodigestão decorrem, via de regra, em função da oferta e da qualidade do substrato inicial (SCHMIDT, 2011, p. 42).

Conforme relata Schmidt (2011) em relatório “*Organic Waste to Energy: Estudo sobre o Aproveitamento Energético da Fração Orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil – Tecnologias, Estado da Arte e Perspectivas*”, os processos de fermentação podem ser diferenciados segundo:

- Taxa de massa seca do conteúdo do fermentador;
- Forma de carregamento do substrato a ser fermentado;
- Temperatura de fermentação;
- Forma de homogeneização;
- Forma de processamento da biomassa ativa, especificamente na fermentação de substratos de baixo valor de massa sólida, por exemplo, o esgoto;
- Forma de separação e interligação dos processos parciais.

Estas opções são classificadas e descritas na Figura 7:

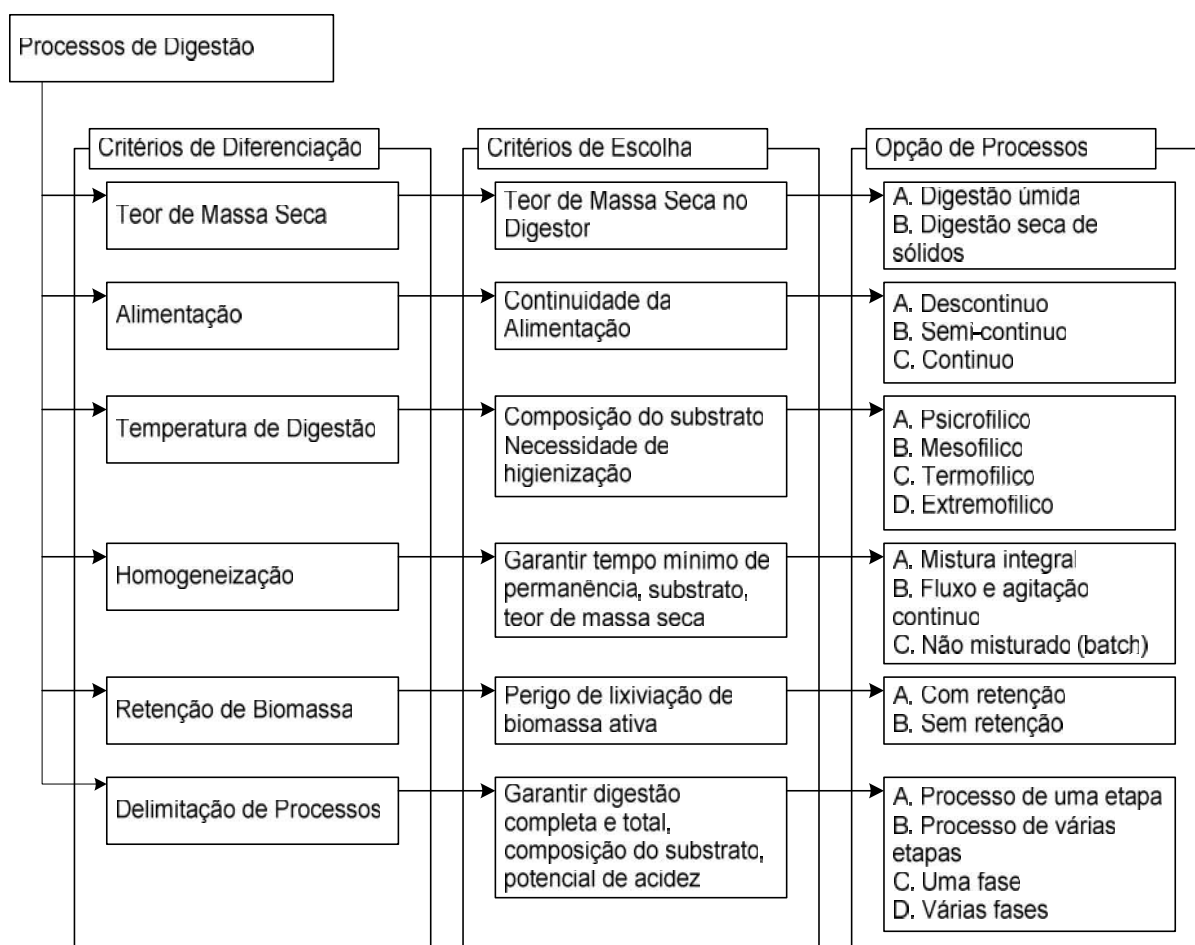


FIGURA 7 – PARÂMETROS PARA ESCOLHA DO PROCESSO DE BIODIGESTÃO
FONTE: SCHMIDT (2011, p. 43).

Segundo Schmidt (2011), em relatório “*Organic Waste to Energy: Estudo sobre o Aproveitamento Energético da Fração Orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil – Tecnologias, Estado da Arte e Perspectivas*”, a diferenciação em processos de fermentação úmida e seca depende do teor de massa seca do conteúdo do fermentador, que de qualquer forma precisa de um meio que oferece umidade suficiente para o desenvolvimento e sobrevivência dos micro-organismos.

Uma linha clara de diferenciação entre fermentação úmida e seca não é bem definida, não obstante esta diferenciação ocorre na prática da seguinte forma: no processamento de substratos provenientes de plantas energéticas, num teor de massa seca até 20% utiliza-se a fermentação úmida, por o substrato ainda apresentar características que permitem o seu bombeamento. Quando o teor de massa seca excede 20%, geralmente trata-se de um substrato que não é mais

bombeável e, portanto, processos de fermentação seca são indicados, conforme relata Schmidt (2011).

O princípio de funcionamento do biodigestor é diretamente interligado com o processo de digestão, que por sua vez depende do substrato inicial. As opções tecnológicas mais comuns são processos de mistura integral, de fluxo contínuo e agitação constante, e o biodigestor modular em batelada (*batch process*). Além disso, existem processos combinados e especiais (SCHMIDT, 2011).

De acordo com o relatório “*Steigerung der Energieeffizienz in der Verwertung biogener Reststoffe*” – elaborado por Fricke, em 2013, literatura – no que se refere a produção de biogás, temos que a fermentação úmida é mais eficiente, seguida da seca contínua. Porém, a desvantagem identificada no potencial de geração de biogás é compensada quando se avalia os métodos de fermentação úmida e seca contínua que demandam um material de entrada bastante limpo e em dimensões menores que 50 mm, possuem custos de manutenção mais elevados e geram efluentes líquidos que podem exigir tratamento.

A Figura 8 a seguir apresenta as diferentes variações e níveis de produção de biogás dos três tipos de fermentação abordados nesse trabalho.

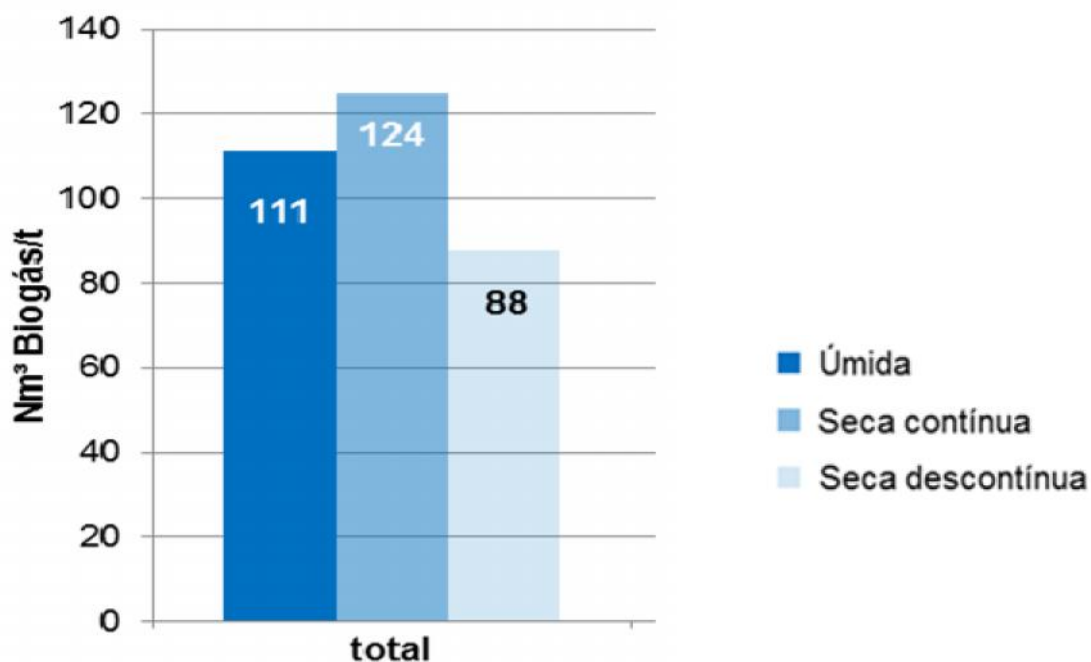


FIGURA 8 – NÍVEIS DE BIOGÁS PRODUZIDOS PELOS DIFERENTES TIPOS DE FERMENTAÇÃO
FONTE: FRICKE E PEREIRA (2013a, p. 102).

4.2.4 Fermentação Úmida

Segundo Schmidt (2011) em relatório “*Organic Waste to Energy: Estudo sobre o Aproveitamento Energético da Fração Orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil – Tecnologias, Estado da Arte e Perspectivas*”, o processo de mistura integral (*Continuously Stirred Tank Reactor* – CSTR) é muito utilizado na digestão de resíduos da agricultura e da pecuária, estes de estrutura homogênea, representando aproximadamente 90% dos sistemas de biogás instalados.

O biodigestor dispõe de uma base em concreto e paredes em aço ou concreto armado, podendo ser enterrado parcialmente ou totalmente enterrado. A cobertura do biodigestor é selada, impermeável ao gás, podendo ser uma membrana de geotêxtil ou laje de concreto. A mistura integral é realizada por uma grande variedade de sistemas de misturadores, conforme ilustrado na Figura 9.

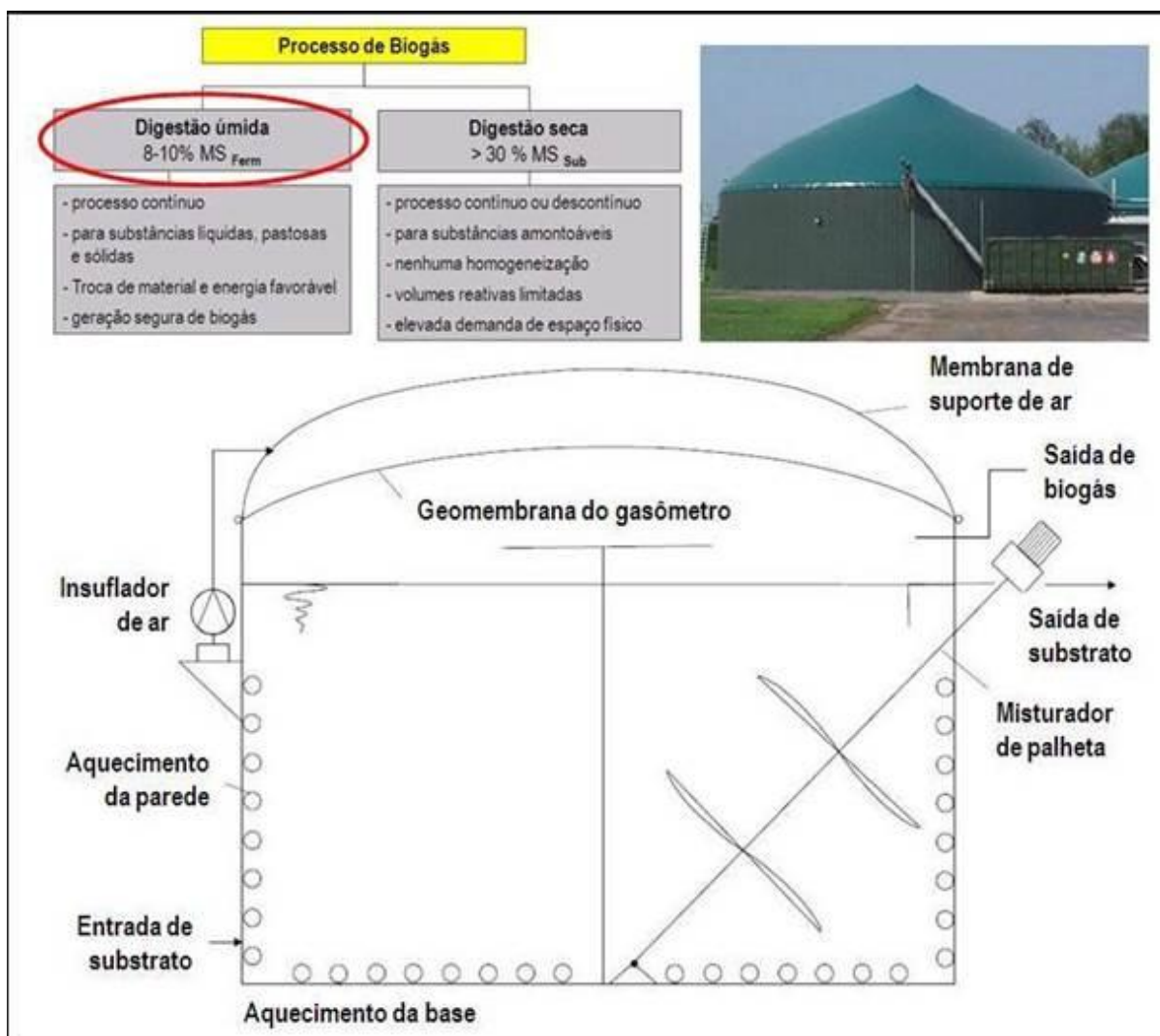


FIGURA 9 – ESQUEMA DE UM BIODIGESTOR DE MISTURA INTEGRAL PARA FERMENTAÇÃO ÚMIDA DE FORMA CONTÍNUA, CONFORME /31/
FONTE: SCHMIDT (2011, p. 47). Adaptado pela autora (2013).

Existem várias opções para induzir a mistura do substrato no biorreator. Alguns sistemas de mistura induzida (através de misturadores mecânicos ou injeção de gás) são exemplificados na Figura 10, tanto para sistemas de mistura integral quanto para sistemas de fluxo contínuo e agitação constante (*PlugFlow*), conforme relata Schmidt (2011).

Schmidt (2011) ainda apresenta como alternativa para garantir a mistura do substrato no biorreator sem misturadores mecânicos ou injeção de gás é o fermentador de mistura hidráulica autoativa (sistema BIMA – *Biogas Induced Mixing Arrangement*), também exemplificada na Figura 10.

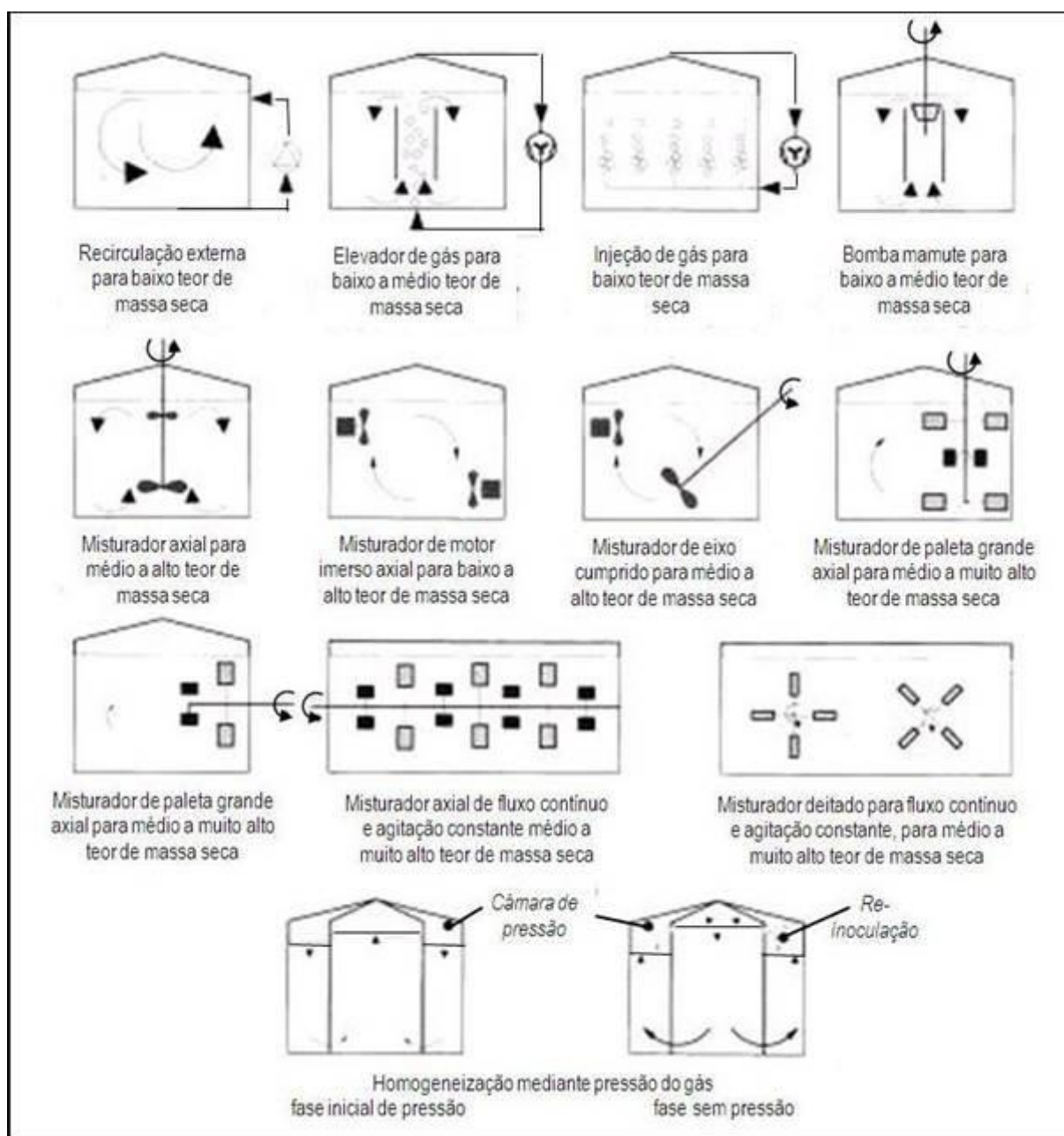


FIGURA 10 – OPÇÕES DE HOMOGENEIZAÇÃO EM BIORREACTORES, CONFORME /19/
 FONTE: SCHMIDT (2011, p. 48).

4.2.5 Fermentação Seca Contínua e Descontínua

Conforme apresentado no relatório “*Equalização de Tecnologias: Proposição para o Tratamento e Valorização de Resíduos em Jacareí – SP*”:

No sistema contínuo, o fermentador é abastecido de forma constante com frações orgânicas frescas e resíduos fermentados. Tem-se uma geração de

biogás contínua preservando sua qualidade no que se refere ao teor de metano.

Este sistema opera com um índice de frações sólidas entre 20 e 40% onde as frações orgânicas são misturas com os líquidos processuais formando uma massa semissólida homogênea. Ao contrário de processos de fermentação úmidas em que os fermentadores são concebidos como reatores de mistura completo, na fermentação seca contínua predominam os fermentadores na forma de corrente de enxerto, onde os materiais são continuamente enxertados, transportados e fermentados. (FRICKE; PEREIRA, 2012, p. 45)

Os processos de fermentação foram sofrendo transformação durante as últimas décadas sendo desenvolvido o sistema seco contínuo e, logo em seguida, o seco descontínuo, este a versão mais moderna da fermentação e classificado no relatório “*Equalização de Tecnologias: Proposição para o Tratamento e Valorização de Resíduos em Jacareí – SP*” da seguinte forma:

O processo de digestão da massa seca acontece em espaços fechados na forma de garagens ou containers e é umedecida por líquidos processuais. O substrato é introduzido nos túneis de fermentação por uma pá-carregadeira e permanecerá até o término da fermentação. O fermentador permanecerá em operação durante algumas semanas então será aberto, descarregado e recarregado.

Assim, não há uma produção regular e de qualidade do biogás, devendo o sistema ser compensado quando da instalação de diversos túneis de fermentação que operam paralelamente em fases diferentes e também de tanque de percolação, garantindo assim índices totais de biogás de qualidade e regular. Os resíduos fermentados não precisam sofrer ação mecânica de prensagem, portanto não geram emissão líquida.

As técnicas de fermentação seca vêm sendo empregadas nos últimos anos para a valorização dos resíduos orgânicos de origem domiciliar e verdes.

Não há necessidade do emprego de técnicas de trituração, afastamento de contaminantes ou mesmo mistura com resíduos fermentados. O biogás é produzido pela degradação biológica nos túneis e também durante a decomposição dos líquidos armazenados no tanque de percolados. Este tanque tem a finalidade de garantir o umedecimento da massa e ainda a homogeneidade da carga de metano presente no biogás. O percolado é recirculado, de modo que apenas uma pequena fração permanece na forma de emissão líquida devendo ser encaminhado para tratamento. (FRICKE; PEREIRA, 2012, p. 45-46)

Os métodos oferecidos no mercado diferem principalmente quanto a concentração de percolados (periodicamente, intermitentemente ou continuamente) e o aquecimento do fermentador (pré-aquecimento biológico por ventilação, aquecimento do fermentador, aquecimento dos líquidos percolados), Schmidt (2011).

4.2.6 Geração de Biogás

Avaliando os dados apresentados em “*Apresentação técnica para módulo gestão de resíduos aplicado no curso de mestrado Engenharia Urbana e Ambiental na PUC-Rio*” pelo Prof. Dr. Klaus Fricke da Universidade Técnica de Braunschweig, em março de 2013 (FRICKE; PEREIRA, 2013a), temos que o rendimento da geração de biogás não difere de forma significativa entre as tecnologias secas e úmidas. A fermentação seca descontínua tem uma geração inferior variando entre 80 até 117 Nm³ CH₄/t e a contínua entre 100 até 130 Nm³ CH₄/t.

A Figura 11 apresenta o balanço energético em processo termofílico para a fermentação úmida, seca contínua e seca descontínua.

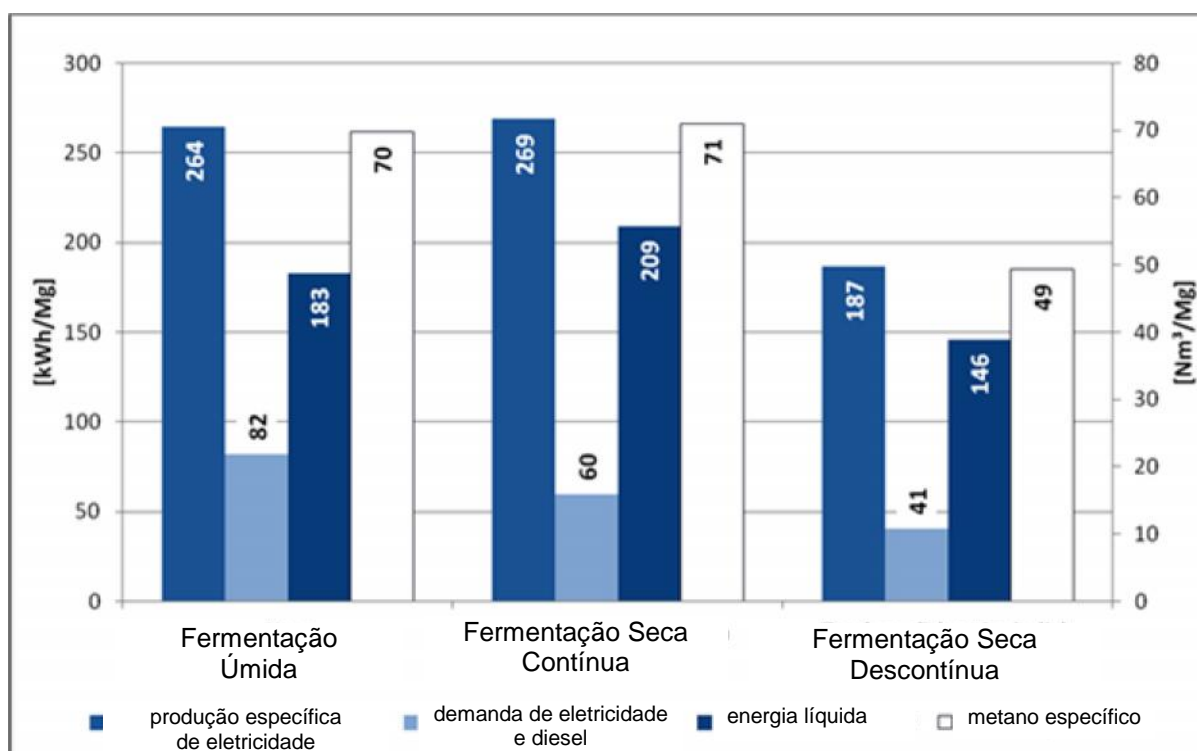


FIGURA 11 – BALANÇO ENERGÉTICO NO PROCESSO TERMOFÍLICO PARA FERMENTAÇÃO ÚMIDA, SECA CONTÍNUA E FERMENTAÇÃO SECA DESCONTÍNUA
 FONTE: FRICKE, HEUSSNER, HUTTNER, TURK E BIBLINGMAIER (2013a, p. 138).

NOTA: Tradução livre da autora.

Para a operação da planta é necessária energia na forma de calor e elétrica, que pode ser obtida com o processamento do biogás. A demanda de energia é menor na fermentação seca descontínua, consumindo de 3-10% da energia elétrica

e cerca de 10-20% da energia térmica gerada a partir da fermentação. O consumo de energia é significativamente superior na fermentação úmida e seca contínua onde a concepção tecnológica é diferente contemplando mecanismos que demandam maior consumo (procedimento mecânico para mistura da massa orgânica e ainda maior necessidade de calor pela atividade termofílica) (UMWELTBUNDESAMT (UBA), 2010).

4.2.7 Balanço Hídrico

O balanço hídrico e suas consequências constituem parâmetros importantes para a decisão quanto a tecnologia a ser empregada.

Em “*Equalização de Tecnologias: Proposição para o Tratamento e Valorização de Resíduos em Jacareí – SP*” temos que:

Os líquidos são introduzidos no processo de fermentação contínua em decorrência da prensagem da massa fermentada. Uma porção desse líquido permanece recirculando no processo sendo que a maior parte dos líquidos gerados deverão ser encaminhados para tratamento. Na fermentação seca contínua e também na fermentação úmida tem-se um balanço hídrico com excedente que pode alcançar 20 – 30% da massa encaminhada para processamento. Para tal estas plantas demandam a instalação de um tanque para armazenagem destes líquidos e futuro tratamento. Os lodos presentes nestes tanques podem ser misturados com as frações compostadas e serem empregados como condicionador de solos.

Na Alemanha, onde a coleta de resíduos orgânicos ocorre de forma seletiva, determinando uma massa descontaminada para o processamento, os líquidos gerados são qualificados como fertilizantes orgânicos e são doados aos agricultores da região, afastando assim os custos atrelados ao tratamento destes líquidos. (FRICKE; PEREIRA, 2012, p. 47-48)

Segundo pesquisas anteriores estima-se que no Brasil, pela característica de nossa coleta mista, estes resíduos líquidos não poderão ser empregados como fertilizante líquido, mas serão classificados como chorume. De qualquer forma, torna-se essencial a realização de análises físico-químicas destes resíduos.

Na fermentação seca descontínua também há emissão de líquidos na ordem de 2 – 8% da massa processada. Esta proporção decorre do sistema sucessivo de recirculação e devido à baixa quantidade sobressalente dispensa-se a

implementação de um tanque extra de armazenamento, sendo que os líquidos são introduzidos integralmente no sistema, conforme relatado em “*Equalização de Tecnologias: Proposição para o Tratamento e Valorização de Resíduos em Jacareí – SP*” (FRICKE; PEREIRA, 2012).

A Figura 12 a seguir mostra a geração de emissões líquidas proporcionalmente a quantidade de resíduos encaminhados para tratamento.

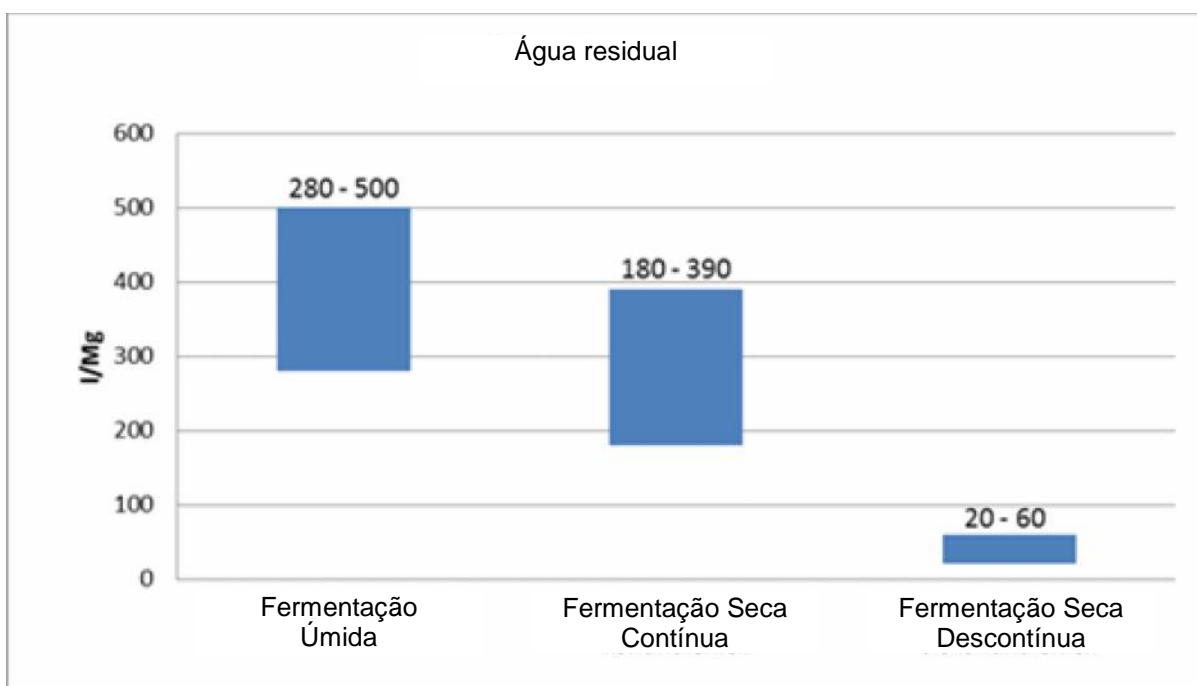


FIGURA 12 – PORCENTAGEM DE EMISSÕES LÍQUIDAS COM BASE NA QUANTIDADE DE MATERIAL ENCAMINHADO PARA O TRATAMENTO

FONTE: FRICKE, HEUSSNER, HUTTNER, TURK E BIBLINGMAIER (2013a, p. 174).

NOTA: Tradução livre da autora.

As tecnologias de ordem biológicas são aplicadas em meios aeróbios e anaeróbios, voltadas para a recuperação energética e produção de composto e biomassa. A base de análise flutua entre as tecnologias anaeróbias de fermentação, úmida e seca (contínua e descontínua) e a aeróbia (compostagem para produção de adubo ou de biomassa). Estas tecnologias podem ser aplicadas isoladamente, apenas a fermentação ou a compostagem ou na forma de combo tecnológico, introduzindo a tecnologia de fermentação anteriormente ao processo aeróbio.

O Quadro 7 apresenta as principais características e divergências entre os processos de fermentação seca e fermentação úmida.

Fermentação Seca	Fermentação Úmida
O abastecimento de frações orgânicas permanece de forma estacionária no processo, eliminando partes móveis e resultando em um sistema com baixo custo de manutenção e de reparos.	O sistema exige partes mecânicas para garantir a circulação da biomassa líquida no tanque, aumentando os custos de manutenção e reparos.
Processos por batelada e sistemas estacionários permitem controles precisos da recuperação de energia garantindo o máximo aproveitamento.	Mistura líquida provoca remoção prematura da energia sem que a fração orgânica tenha sido integralmente digerida, resultando em perda de energia.
Balanço de líquidos equilibrado – não há necessidade de adição extra de líquidos para início do processo, em alguns casos é necessário tratamento das emissões líquidas geradas em caráter sobressalente.	Sistema exige adição extra de líquidos para garantir a fermentação, aumentando significativamente a emissão de águas residuais e os respectivos custos de tratamento.
Sendo as frações exclusivamente orgânicas não há necessidade de tratamento mecânico preliminarmente ao biológico, reduzindo assim custos de investimento e de operação.	Mesmo sendo as frações exclusivamente orgânicas há necessidade de tratamento mecânico preliminarmente ao biológico, para não avariar os maquinários através da agitação da massa, incrementando assim os custos de investimento e de operação.
Restrições limitadas dos resíduos para fermentação.	Restrições amplas quanto aos resíduos para fermentação, devendo ser encaminhados apenas as massas úmidas.
Baixo consumo de energia, podendo ser usada uma fração pequena da energia gerada, máximo 10% de consumo próprio.	Sistemas típicos consomem de 10 – 30% da energia gerada na planta e para o tratamento das emissões líquidas é necessária energia suplementar.
Baixo volume de fermentador.	Alto volume de fermentador (a partir de fator 3)
Entrada de frações orgânicas reduzidas de forma significativa e a geração emissões líquidas é limitada, reduzindo o risco de contaminação das águas subterrâneas.	Emissões líquidas elevadas podem alcançar até 70% da massa processada, requerendo alta quantidade de energia para o tratamento e aumentando os riscos de contaminação das águas subterrâneas.

QUADRO 7 – VANTAGENS E DESVANTAGENS:
FERMENTAÇÃO SECA X FERMENTAÇÃO ÚMIDA
FONTE: FRICKE (2013, p. 36).

O Quadro 8 apresenta as principais características e divergências entre os processos de fermentação seca contínua e descontínua (por batelada).

Fermentação seca por batelada	Fermentação seca contínua
Necessidade de tratamento mecânico para preparo do material antes da fermentação.	Necessidade de tratamento mecânico mais intensivo para preparo do material antes da fermentação.
Não há necessidade de homogeneização mecânica no fermentador. Não há componentes mecânicos no fermentador.	Há necessidade de homogeneização mecânica no fermentador. Há componentes mecânicos no fermentador acarretando corrosão e abrasão nestes componentes.
Baixo risco de variação no fermentador pela interrupção da atividade biológica e quando de alguma complicação a atividade biológica inicia-se imediatamente.	Risco de variação na fermentação pela interrupção da atividade biológica e quando de alguma complicação a atividade biológica precisa de um período maior para ser reestabelecida.
Nenhuma fase de prensagem ao término do processo, reduzindo a geração de emissões líquidas com alto teor de carga orgânica.	Necessidade de fase de prensagem ao término do processo, geração elevada de emissões líquidas com alto teor de carga orgânica.
Produção inferior de biogás – cerca de 90 m ³ CH ₄ / t de resíduos orgânicos.	Produção superior de biogás – cerca de 120 m ³ CH ₄ / t de resíduos orgânicos.
Baixo emprego de energia decorrente do tratamento mecânico simplificado, da ausência de componente mecânico no fermentador e da dispensa de sistema de prensagem da massa antes da compostagem.	Elevado emprego de energia decorrente do tratamento mecânico mais complexo, da presença de componente mecânico no fermentador e da necessidade de sistema de prensagem da massa antes da compostagem.
Volume de fermentação superior.	Volume de fermentação inferior.
Sistema robusto em consequência menor susceptibilidade.	Sistema mais frágil em consequência maiores riscos de complicações durante a fermentação e prensagem.

QUADRO 8 – DADOS COMPARATIVOS:
FERMENTAÇÃO SECA CONTÍNUA X DESCONTÍNUA (POR BATELADA)

FONTE: FRICKE (2013, p. 38).

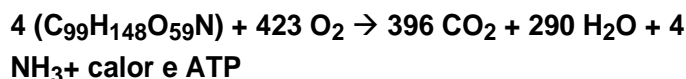
4.3 TECNOLOGIA DE COMPOSTAGEM – TRATAMENTO BIOLÓGICO AERÓBIO

Em “*Aplicação do tratamento mecânico-biológico de resíduos no Brasil*” (FRICKE; DICHTL; SANTEN; MÜNNICH; BAHR; HILLEBRECHT; SCHULZ, 2007), é exposto que:

Sob condições aeróbias, todos os componentes biológicos formados através dos micro-organismos são biodegradáveis. Este efeito é conhecido pela expressão “onipotência bioquímica”. O processo total de degradação microbiológica aeróbia pode ser resumido da seguinte forma:

Componentes orgânicos + oxigênio = dióxido de carbono + água + energia

Para modelagem da constituição da substância orgânica, aplica-se a seguinte equação química:



As condições ambientais favoráveis para os micro-organismos aeróbios devem ser garantidas visando possibilitar um processo de degradação ótimo. Através do processo de degradação apresentado acima, derivam-se os seguintes parâmetros para o processo aeróbio:

- fornecimento suficiente de oxigênio;
- nível de temperatura adequado;
- abastecimento adequado de água e de nutrientes. (FRICKE; DICHTL; SANTEN; MÜNNICH; BAHR; HILLEBRECHT; SCHULZ, 2007, p. 24)

Fricke, Dichtl, Santen, Münnich, Bahr, Hillebrecht e Schulz (2007, p. 27) escreveram que a decomposição aeróbia de 1 kg de substâncias orgânicas geram 20,000 kJ. No processo metabólico, aproximadamente 12,000 kJ de energia exotérmica sob a forma de calor é liberada adicionalmente à energia exigida pelo “consumidor”. O calor microbiano é impedido de sair pela superfície da leira devido a baixa condutividade (0,25 a 0,4 W/mK – dependendo do balanço hídrico), desta forma a leira se autoquece (autoaquece). As temperaturas variam entre mesofílicas (10-45 °C) e termofílicas (25-80 °C) (ver FIGURA 13).

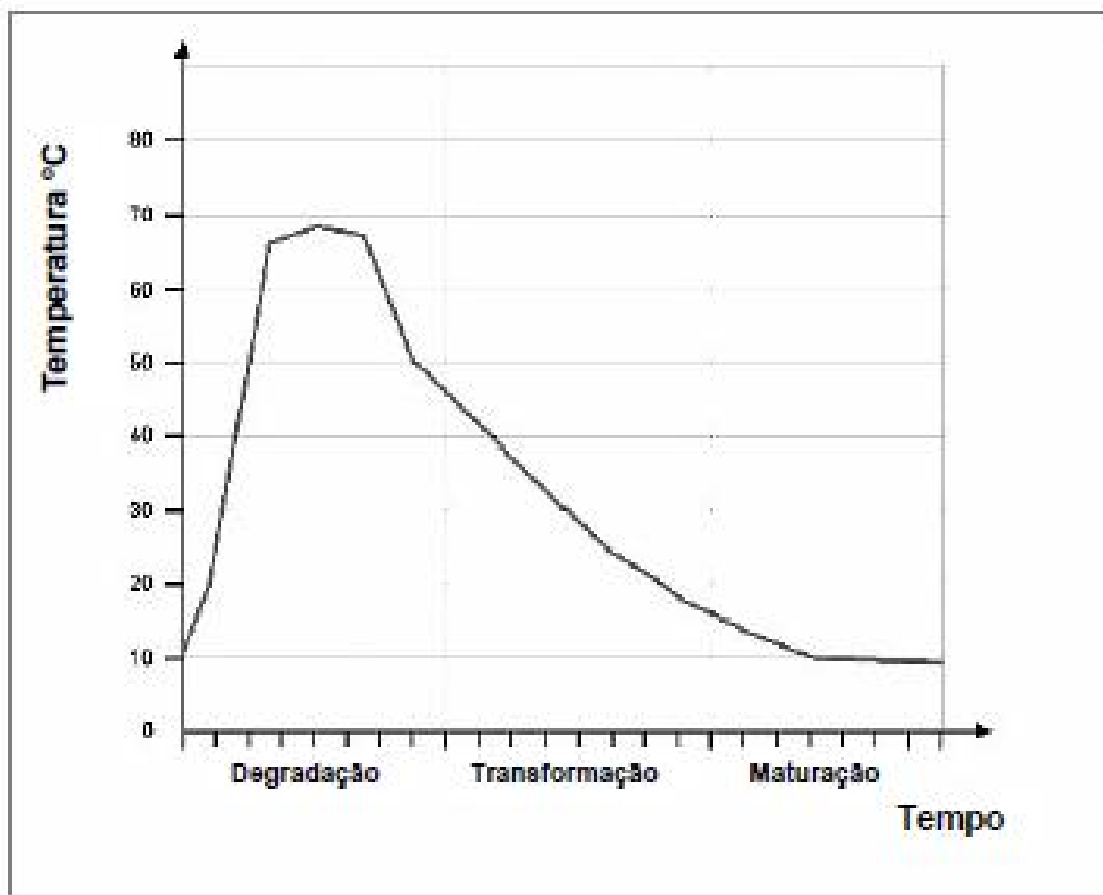


FIGURA 13 – VARIAÇÃO DO NÍVEL DE TEMPERATURA NA LEIRA DURANTE O PROCESSO DE COMPOSTAGEM

FONTE: FRICKE, DICHTL, SANTEN, MÜNNICH, BAHR, HILLEBRECHT E SCHULZ (2007, p. 27).

Interpretando dados obtidos em “*Aplicação do tratamento mecânico-biológico de resíduos no Brasil*” (FRICKE; DICHTL; SANTEN; MÜNNICH; BAHR; HILLEBRECHT; SCHULZ, 2007, p. 25) temos que alguns parâmetros são definidos como reguladores das condições ambientais de decomposição aeróbia, quais sejam: teor de oxigênio, teor de umidade e temperatura.

Fricke, Dichtl, Santen, Münnich, Bahr, Hillebrecht e Schulz (2007, p. 26) definiu que a quantidade de oxigênio que garantisse uma completa oxidação dos resíduos orgânicos é de aproximadamente $2\text{g O}_2 / \text{g}$ de substância orgânica biodegradável.

Segundo avaliações relatadas (FRICKE; DICHTL; SANTEN; MÜNNICH; BAHR; HILLEBRECHT; SCHULZ, 2007, p. 25-31), pode-se afirmar que o transporte de energia e a regulação da temperatura depende dos seguintes fatores: escolha do perfil da leira, condições climáticas, ajuste da porosidade através da adição de materiais estruturantes como resíduos verdes triturados, aeração passiva ou ativa e

frequência de revolvimento das leiras, estes critérios foram identificados em diversos projetos executados pela autora desta monografia.

4.3.1 Tecnologias de Compostagem

Segundo Schmidt (2005), o espectro de técnicas de compostagem varia desde técnicas bastante simples (processo extensivo), compostagem em leiras em pátios abertos até processos altamente sofisticados e controlados, sistema encapsulado (intensivo), tais como a compostagem em túnel.

Fricke, Dichtl, Santen, Münnich, Bahr, Hillebrecht e Schulz (2007), no relatório “*Aplicação do tratamento mecânico-biológico de resíduos no Brasil*”, define as diferenças entre os processos aeróbios da seguinte forma:

A principal diferença entre os processos de tratamento aeróbio de resíduos consiste nos diferentes sistemas de pré-decomposição e decomposição termófila intensiva. As áreas posteriormente conectadas de pós-decomposição termófila, produção e armazenamento normalmente não são partes específicas do processo. Na fase termófila de pré-decomposição, os materiais orgânicos de fácil degradação são decompostos por micro-organismos com intensidade de degradação relativamente elevada. A duração da fase termófila de pré-decomposição abrange um período de aproximadamente seis semanas. As exigências na administração desta fase, como por exemplo, o fornecimento de oxigênio, a regulação da temperatura e o limite de emissões, são bastante elevadas. Os processos de degradação e de transformação na fase termófila de pós-decomposição são nitidamente mais lentos que na fase termófila intensiva de decomposição. Nesta fase, a velocidade de decomposição pode ser em pequena escala influenciada por medidas técnicas.

As características relevantes de distinção entre os processos aeróbios atuais, são:

- a formação da área de decomposição e a geometria das leiras;
- o tipo de aeração;
- o tipo do sistema de entrada, saída e de revolvimento. (FRICKE; DICHTL; SANTEN; MÜNNICH; BAHR; HILLEBRECHT; SCHULZ, 2007, p. 37)

As tecnologias de compostagem intensivas com mecanismos de alta tecnologia tem viabilidade econômica a partir do processamento de 15.000 t/a de resíduos. Com esse tamanho, a fim de minimizar a emissão de odores, o processo deve ser encapsulado, caso esteja localizado próximo a áreas urbanas, tendo o ar

emitido captado e tratado. Estas conclusões foram obtidas através de experiências profissionais colecionadas pela autora desta pesquisa.

Esses diversos arranjos tecnológicos que variam desde processos mais simples, em áreas abertas com poucos maquinários, até os mais complexos, em áreas fechadas, extremamente automatizada, permitem que o processo de compostagem seja aplicado em áreas com condições bastante diversificadas independente das condições climáticas ou gravimétricas dos resíduos, conforme retratado na “*Aplicação do tratamento mecânico-biológico de resíduos no Brasil*” (FRICKE; DICHTL; SANTEN; MÜNNICH; BAHR; HILLEBRECHT; SCHULZ, 2007). O Quadro 9 apresenta a sistematização das tecnologias aeróbias.

	Compostagem extensiva	Compostagem intensiva
Grau de automatização	Baixo	Alto
Proteção contra a emissão de ar	Sob pátio coberto ou coberturas semipermeáveis	Completamente ou parcialmente em áreas fechadas
Disponibilidade de área	Alta	Baixa
Controle de emissões	Baixo	Alta
Custos	Investimento e custos de operação baixos	Investimento e custos de operação altos

QUADRO 9 – SISTEMATIZAÇÃO DAS TECNOLOGIAS AERÓBIAS

FONTE: A autora (2013).

NOTA: Elaboração a partir de informações de Fricke, Dichtl, Santen, Münnich, Bahr, Hillebrecht e Schulz (2007).

4.3.2 Sistemas Extensivos de Compostagem

De acordo com Fricke, Dichtl, Santen, Münnich, Bahr, Hillebrecht e Schulz (2007), a tecnologia mais antiga de compostagem é a denominada leira em triângulos. Esta tecnologia é a mais empregada na Europa e pode ser observada na Figura 14.



FIGURA 14 – LEIRA DE COMPOSTAGEM, SENDO MONTADA E REVIRADA POR PÁ-CARREGADEIRA

FONTE: FRICKE, DICHTL, SANTEN, MÜNNICH, BAHR, HILLEBRECHT E SCHULZ (2007, p. 39).

Fricke, Dichtl, Santen, Münnich, Bahr, Hillebrecht e Schulz (2007) retratam que a compostagem aeróbia ocorre em leiras de diferentes dimensões e perfis, onde durante sua montagem e revolvimento as pás-carregadeiras são empregadas para a execução de leiras altas e os equipamentos de revolvimento para leiras baixas e amplas. As leiras alcançam alturas entre 1,50 a 3,50 m, dependendo do seu perfil. Os perfis mais comuns são os triangulares, trapezoidais e de perfis planos. Para a mitigação de emissões dos percolados são preparadas bases compostas por camadas de palha, casca, paletes de madeira, entre outros materiais que o mercado já emprega.

4.3.2.1 Compostagem em Leiras Triangulares sem Aeração Forçada

Segundo apresentado em “*Aplicação do tratamento mecânico-biológico de resíduos no Brasil*” (FRICKE; DICHTL; SANTEN; MÜNNICH; BAHR; HILLEBRECHT; SCHULZ, 2007), a compostagem em leiras triangulares sem aeração forçada também é utilizada para o tratamento de resíduos. Pequenas leiras em formato triangular têm um volume de superfície elevado e caminhos curtos para a difusão restrita do oxigênio. A aeração forçada não é necessária. O fornecimento de oxigênio ocorre por convecção, difusão e revolvimento da leira.

A Figura 15 apresenta o maquinário utilizado em área de compostagem executando o revolvimento em uma leira triangular.



FIGURA 15 – REVOLVIMENTO DE LEIRA TRIANGULAR

FONTE: FRICKE, DICHTL, SANTEN, MÜNNICH, BAHR, HILLEBRECHT E SCHULZ (2007, p. 41).

4.3.2.2 Compostagem em Leiras Triangulares com Aeração Forçada

Sistemas de aeração forçada foram desenvolvidos com o objetivo de mitigar odores e acelerar a decomposição.

A compostagem em leiras é tipicamente empregada para quantidades maiores, requerendo largas áreas. Adicionalmente, podem ser identificados problemas de odor e de percolação excessiva durante a decomposição nas leiras. Para remediar estes problemas, em áreas onde as condições pluviométricas são intensas ou mesmo onde a população afetada encontra-se localizada na proximidade da planta de compostagem, devem ser desenvolvidos sistemas simples de cobertura como pátios cobertos ou membranas semipermeáveis, conforme “*Aplicação do tratamento mecânico-biológico de resíduos no Brasil*” (FRICKE; DICHTL; SANTEN; MÜNNICH; BAHR; HILLEBRECHT; SCHULZ, 2007).

As Figuras 16 e 17 apresentam modelo de sistema de compostagem com aeração forçada.

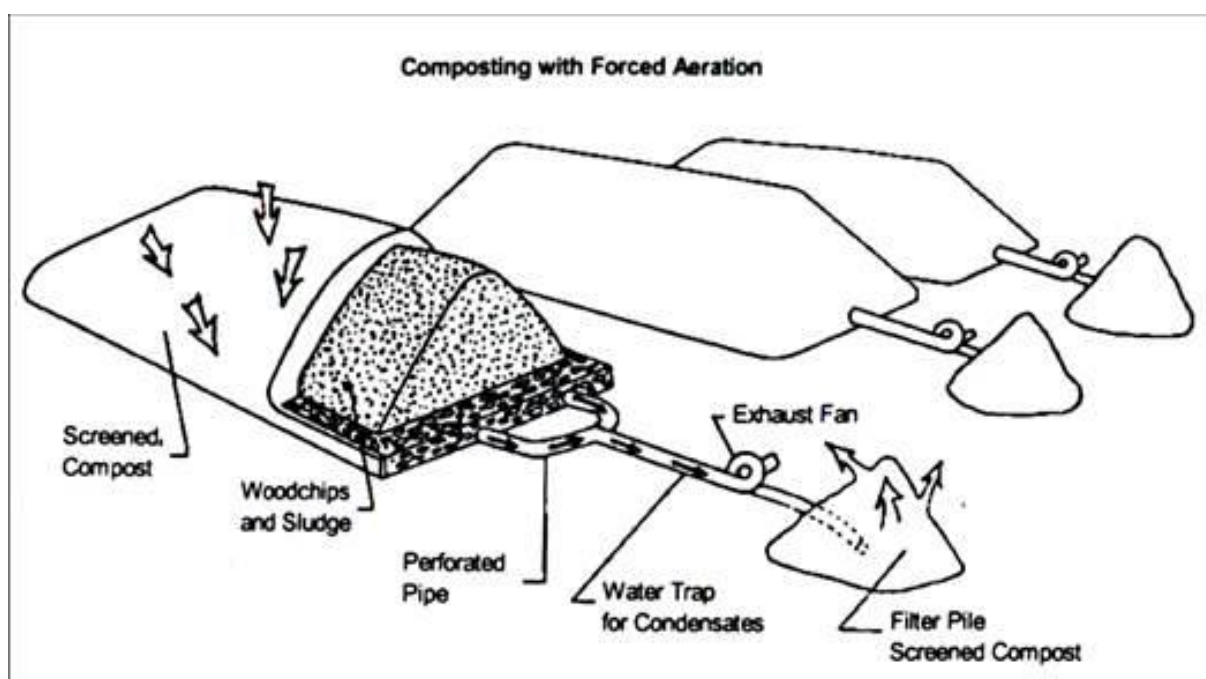


FIGURA 16 – MODELO DIDÁTICO DE SISTEMA DE COMPOSTAGEM COM AERAÇÃO FORÇADA

FONTE: FRICKE E PEREIRA (2013a, p. 53).

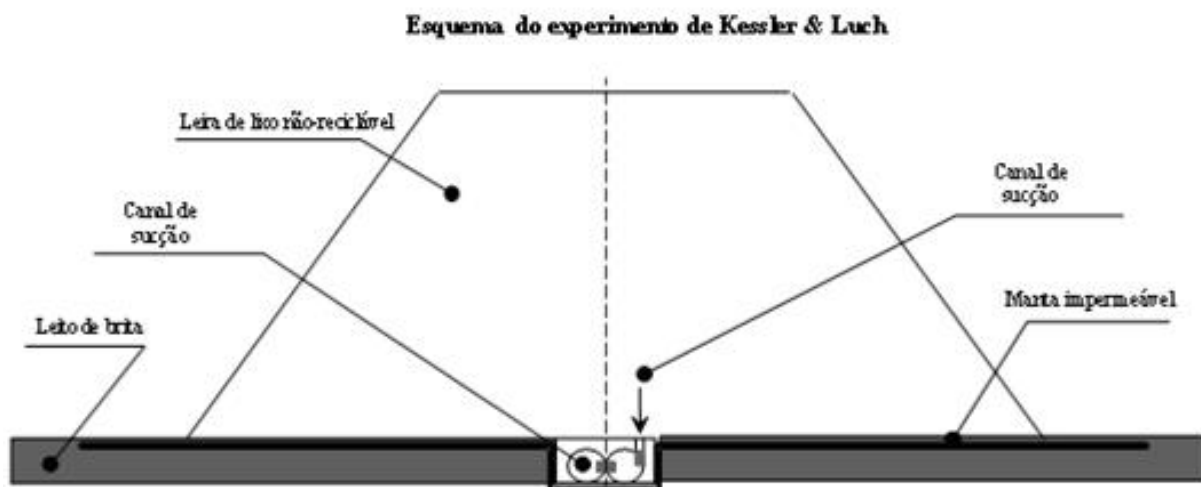


FIGURA 17 – SISTEMA DE COMPOSTAGEM COM AERAÇÃO FORÇADA, SEM COBERTURA
 FONTE: FRICKE, DICHTL, SANTEN, MÜNNICH, BAHR, HILLEBRECHT E SCHULZ (2007, p. 42).

4.3.2.3 Compostagem em Leiras Trapezoidais com Aeração Passiva

Em “*Aplicação do tratamento mecânico-biológico de resíduos no Brasil*” (FRICKE; DICHTL; SANTEN; MÜNNICH; BAHR; HILLEBRECHT; SCHULZ, 2007) temos apresentadas que a compostagem em leiras trapezoidal ocorre de forma estática, onde não há revolvimento da leira, e o sistema de aeração decorre da convecção do ar impulsionado pela diferença de temperatura entre a leira e o meio ambiente fazendo com que o ar penetre, de forma passiva em uma tubulação perfurada distribuída em espaçamentos constantes, permitindo que toda a massa seja aerada. Sua base pode ser preparada com cavacos de madeira ou mesmo sobre paletes, funcionando não apenas como uma segunda ferramenta de aeração, mas também como uma superfície drenante que impede o percolado de permanecer sob a leira. A superfície da leira é coberta com cavacos de madeira em uma espessura de 20-30 cm que serve como um filtro biológico visando minimizar possíveis odores da decomposição.

Estas leiras sendo executadas em áreas onde o índice pluviométrico é elevado podem ter sua superfície coberta também por uma membrana

semipermeável, a fim de inibir a penetração da chuva intensa e controlar o teor de umidade do material.

Este método é denominado como da chaminé e é ilustrado na figura 18.

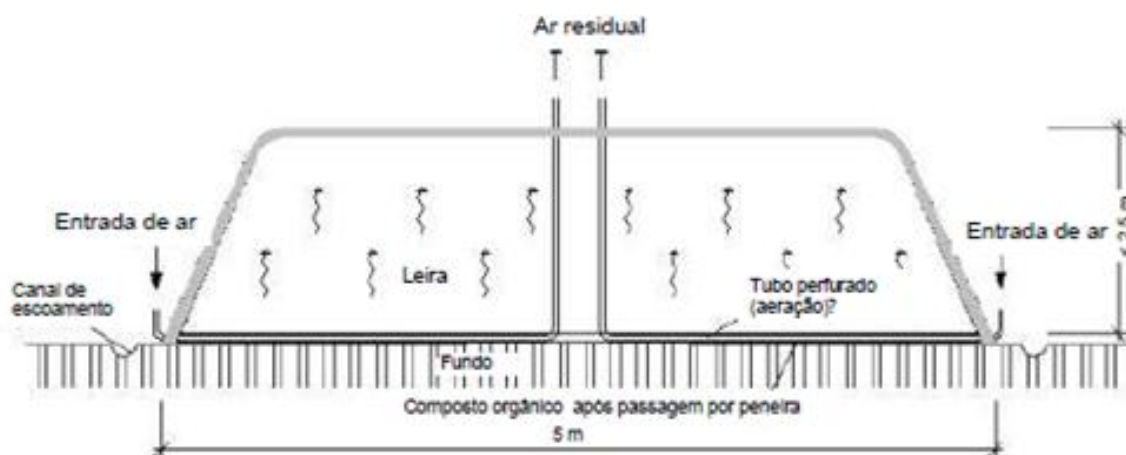


FIGURA 18 – SISTEMA DE AERAÇÃO PASSIVA

FONTE: FRICKE, DICHTL, SANTEN, MÜNNICH, BAHR, HILLEBRECHT E SCHULZ (2007, p. 43).

A Figura 19 apresenta a construção de uma leira de compostagem com aeração passiva.



FIGURA 19 – LEIRA DE COMPOSTAGEM COM AERAÇÃO PASSIVA

FONTE: A autora (2001).

Foto: Christiane Dias Pereira; Local: Empresa Faber Serviço Ltda.

4.3.2.4 Sistemas Intensivos de Compostagem

Em “*Aplicação do tratamento mecânico-biológico de resíduos no Brasil*” (FRICKE; DICHTL; SANTEN; MÜNNICH; BAHR; HILLEBRECHT; SCHULZ, 2007) temos a compostagem em sistemas encapsulados significando compostagem em um ambiente fechado, com troca térmica minimizada com a atmosfera, vários métodos de aeração e revolvimento mecânico para controle do processo. Estes sistemas são concebidos para minimizar os odores e tempo da decomposição em decorrência do controle do fluxo de ar, temperatura e da concentração de oxigênio. Sistemas encapsulados tornam possível a coleta das emissões gasosas, dos odores e dos particulados. A aeração ativa, o umedecimento e a homogeneização permitem o controle e a otimização da fase de estabilização biológica, desta forma, acelerando consideravelmente a fase principal da biodegradação.

4.3.2.5 Sistema de Compostagem em Túnel

A compostagem em túnel ocorre em áreas totalmente fechadas que são alimentadas e esvaziadas através da pá-carregadeira. Alguns sistemas empregam durante a atividade de esvaziamento pisos móveis. Os resíduos são aerados de forma intensiva e o ar exaurido pode ser coletado e tratado de forma eficiente.

Já em “*Aplicação do tratamento mecânico-biológico de resíduos no Brasil*” (FRICKE; DICHTL; SANTEN; MÜNNICH; BAHR; HILLEBRECHT; SCHULZ, 2007) temos relatado que os túneis de compostagem intensiva são construídos em concreto sob área plana. Uma série de tubos de aeração, posicionados paralelamente, são instalados longitudinalmente no piso de concreto do túnel, por baixo da área que receberá os resíduos.

Os pequenos orifícios são perfurados para receber as conexões (pequenos bocais cônicos usados para distribuir o ar), que são coladas nos tubos. As conexões apresentam bicos cônicos para impedir os bloqueios. Durante o processo de compostagem, um ventilador sopra ar diretamente na câmara de compostagem e também nos tubos de aeração sob o piso do túnel. As conexões presentes no piso

do túnel fornece uma aeração pressurizada, para assegurar que o ar penetre no material. Desta forma, o processo de compostagem pode ser adequadamente controlado.

A Figura 20 mostra o perfil do túnel de compostagem.

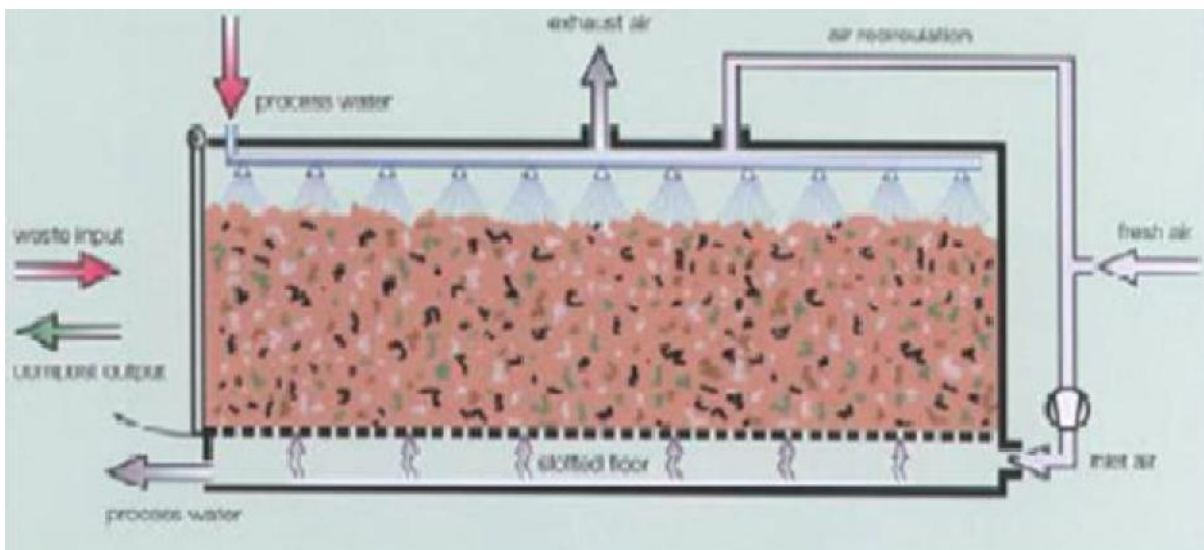


FIGURA 20 – PERFIL DO TÚNEL DE COMPOSTAGEM INTENSIVA
FONTE: FRICKE E PEREIRA (2013a, p. 68).

A Figura 21 mostra os tuneis de compostagem intensiva.



FIGURA 21 – TÚNEL DE COMPOSTAGEM INTENSIVA
FONTE: FRICKE E PEREIRA (2013a, p. 92).

4.3.2.6 Compostagem em Leira Plana

Neste arranjo as vantagens de um sistema fechado são combinadas aos métodos de compostagem em leiras. Em compartimentos completamente automatizados, as frações orgânicas são amontoadas em leiras planas, aeradas de forma forçada, e revolvidas automaticamente por uma pá rotativa. O material é umedecido, quando necessário, através de sistemas pulverizadores localizados acima de leira ou durante o processo de revolvimento. Um piso perfurado permite que o ar seja lançado na leira, o ar exaurido é captado e direcionado para um biofiltro, a fim de evitar perturbações pelos odores. No decurso da decomposição, os resíduos são revolvidos na sua totalidade. Após este período, a massa é encaminhada para uma área de pós-maturação, segundo descrito em *“Aplicação do tratamento mecânico-biológico de resíduos no Brasil”* (FRICKE; DICHTL; SANTEN; MÜNNICH; BAHR; HILLEBRECHT; SCHULZ, 2007).

A Figura 22 apresenta um esquema do perfil de uma leira de compostagem tabular.

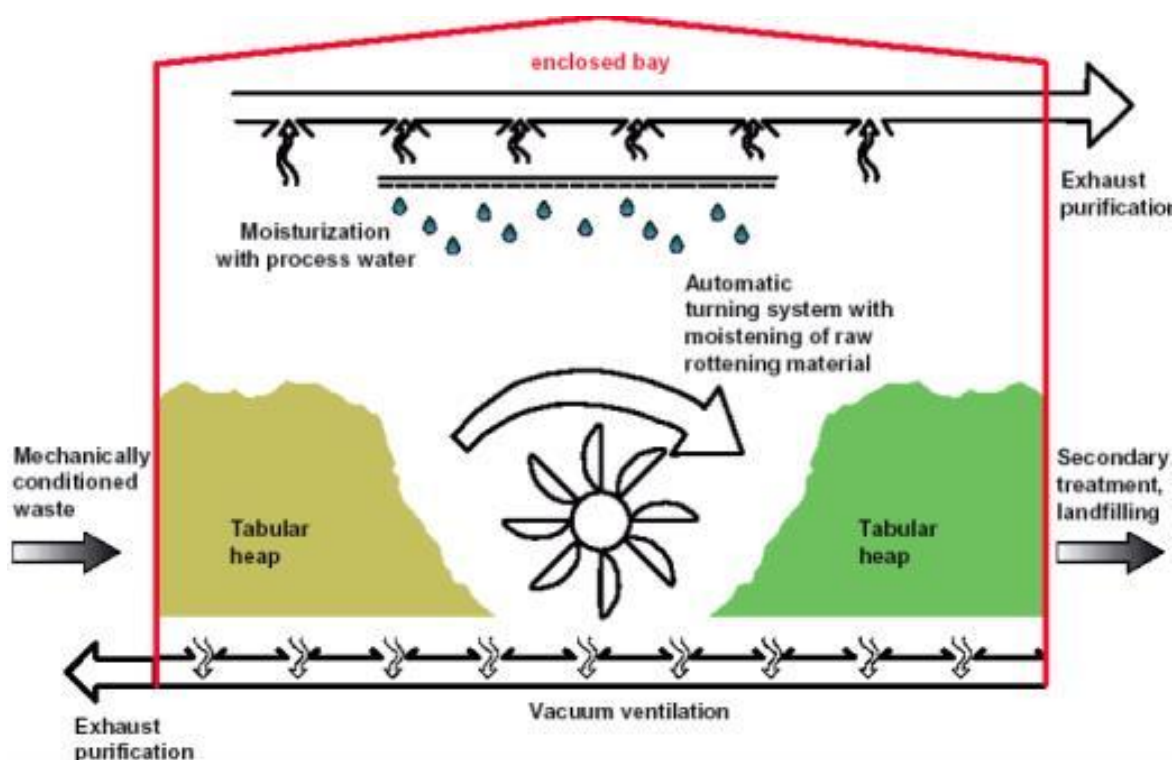


FIGURA 22 – PERFIL DA LEIRA DE COMPOSTAGEM TABULAR
 FONTE: FRICKE E PEREIRA (2013a, p. 65).

A Figura 23 a seguir mostra o processo de compostagem em um sistema fechado e completamente automatizado.



FIGURA 23 – COMPOSTAGEM EM LEIRA PLANA E REVOLVÍVEL

FONTE: FRICKE, DICHTL, SANTEN, MÜNNICH, BAHR, HILLEBRECHT E SCHULZ (2007, p. 45).

4.3.2.7 Compostagem em Leira Trapezoidal

Conforme apresentado em “*Aplicação do tratamento mecânico-biológico de resíduos no Brasil*” (FRICKE; DICHTL; SANTEN; MÜNNICH; BAHR; HILLEBRECHT; SCHULZ, 2007, p. 42), a compostagem em leiras trapezoidais é semelhante à compostagem em leira plana, diferindo quanto ao perfil da leira e ao grau de automação. Equipamentos como pá-carregadeiras e sistemas de revolvimento semiautomático são empregados para sua movimentação. A aeração ocorre também pelo piso aerado e o ar exaurido é capturado e tratado em biofiltro a fim de mitigar a emissão de odores. A leira em perfil trapezoidal tem uma base de 10 m e uma altura de 3 m requerendo aproximadamente uma área de $0,45 \text{ m}^2/\text{m}^3$ de resíduo.

4.4 ESTABELECIMENTO DE MATRIZ DE IMPACTO TECNOLÓGICO

Para formar uma matriz de impacto tecnológico foi necessário abordar aspectos de ordem econômica, ambiental e operacional. Estas abordagens permitem comparar as tecnologias, suas vantagens e fragilidades. Estes aspectos foram adaptados dentro de uma matriz formulada em “*Relatório Ambiental Preliminar – RAP*” (PEREIRA; BENVENUTO; LINDNER, 2006) onde os impactos ambientais e sua importância para o meio ambiente e as principais medidas mitigadoras foram contempladas pelo projeto do Parque de Valorização de Resíduos Urbanos, no município de São Sebastião, no estado de São Paulo.

Segundo definido no RAP:

A matriz de impacto tecnológico visa traçar linhas multidisciplinares de avaliação desde caracterização técnica, capacidade de adaptação da tecnologia, riscos envolvidos na rotatividade da equipe, disponibilidade de peças de reposição, risco de importação, capacitação técnica, linhas de financiamento, licenciamento ambiental, educação ambiental e inclusão social.

Na matriz, o campo “Impactos Ambientais” serve para descrever os impactos ambientais associados aos aspectos ambientais. São estes impactos que foram avaliados individualmente no campo “Avaliação” [...]. O número de pontos visto entre parênteses, serve para caracterização do grau de cada impacto, conforme será explicado a seguir.

O campo “Avaliação” foi subdividido nos seguintes itens:

- Abrangência (A) – o impacto ambiental deve ser avaliado conforme abaixo:
- Local (1 ponto) – aquele cujos efeitos do aspecto ambiental se fazem sentir apenas no próprio sítio onde se deu a ação e suas imediações;
- Regional (2 pontos) – aquele cujos efeitos do aspecto ambiental se propagam por uma área além das imediações do sítio onde se dá a ação;
- Global (3 pontos) – aquele cujos efeitos do aspecto ambiental atingem um componente ambiental de importância coletiva, nacional ou até mesmo internacional.
- Probabilidade (Pr) – os impactos ambientais potenciais associados à situações de risco devem ser avaliados segundo sua probabilidade de ocorrência, conforme os critérios a seguir:
 - Alta (3 pontos) – aquele cuja possibilidade de ocorrência seja muito grande ou existam evidências de muitas ocorrências no passado (no mínimo um caso em um ou dois anos, por exemplo).
 - Média (2 pontos) – aquele cuja possibilidade de ocorrência seja razoável ou existam evidências de algumas ocorrências no passado (no mínimo um caso em três ou quatro anos, por exemplo).
 - Baixa (1 ponto) – aquele cuja possibilidade de ocorrência seja nula ou muito remota (no mínimo um caso em cinco anos ou mais, por exemplo) ou não existam evidências de ocorrência no passado.

- Severidade (Sr) – os impactos ambientais devem ser avaliados segundo sua criticidade em relação ao meio ambiente, em três tipos de categorias:
 - Severo (3 pontos) – aquele cujo impacto ambiental adverso cause danos irreversíveis, críticos ou de difícil reversão e/ou ponha perigo a vida de seres humanos externos ao sítio.
 - Leve (2 pontos) – aquele cujo impacto adverso cause danos reversíveis ou contornáveis e/ou ameace a saúde de seres humanos externos ao sítio.
 - Sem dano (1 ponto) – aquele cujo impacto ambiental cause danos mínimos ou imperceptíveis.
- Detecção (De) – os impactos ambientais potenciais e reais devem ser avaliados segundo o seu grau de detecção, conforme critérios a seguir:
 - Difícil (3 pontos) – é improvável que o impacto ambiental real ou que o aspecto ambiental potencial, neste último caso quando o mesmo vier a se manifestar, seja detectado através dos meios de monitoramento disponíveis.
 - Moderado (2 pontos) – é provável que o aspecto ambiental real ou que o aspecto ambiental potencial, neste último caso quando o mesmo vier a se manifestar, seja detectado através dos meios de monitoramento disponíveis e dentro de um período razoável de tempo.
 - Fácil (1 ponto) – é praticamente certo que o impacto ambiental real ou que o impacto ambiental potencial, neste último caso quando o mesmo vier a se manifestar, seja detectado rapidamente através dos meios de monitoramento disponíveis.

A matriz montada foi preenchida considerando-se condições normais de operação, com produtos e/ou serviços realizados no presente. Também não foram levados em consideração os impactos considerados como benéficos.

Outro campo existente é o referente à “Magnitude”, que é um dos atributos principais de um impacto ambiental. É a grandeza de um impacto em termos absolutos, podendo ser definida como as medidas de alteração nos valores de um fator ou parâmetro ambiental, ao longo do tempo, em termos quantitativos ou qualitativos.

Apresentam-se algumas definições para Magnitude encontradas na literatura: “grau ou extensão da escala de um impacto” (Fisher & Davies, 1973) e “provável grandeza de cada impacto potencial” (Environmental Protection Service, 1978).

Na matriz montada, o campo Magnitude é composto pelos parâmetros abaixo:

- Resultado (Re) – é determinado pela multiplicação dos fatores (Probabilidade X Severidade X Abrangência X Detecção). (PEREIRA; BENVENUTO; LINDNER, 2006, p. 192-193)

O grau de magnitude é classificado conforme o Quadro 10.

Pontuação Obtida	Grau de Magnitude
Re < 06	Desprezível
06 < Re < 18	Significante
Re > 18	Importante

QUADRO 10 – CLASSIFICAÇÃO DO GRAU DE MAGNITUDE PARA A MATRIZ DE IMPACTO TECNOLÓGICO

FONTE: PEREIRA, BENVENUTO E LINDNER (2006, p. 193).

Considerando a experiência profissional acumulada pela autora desta pesquisa, em 17 anos de atuação no mercado de gestão de resíduos, foi possível adaptar a matriz de impacto desenvolvida em “*Relatório Ambiental Preliminar – Parque de Valorização de Resíduos – Prefeitura Municipal de São Sebastião, São Paulo*” (PEREIRA; BENVENUTO; LINDNER, 2006) para uma realidade de análise de rota tecnológica que abarque desde os componentes ambientais, econômicos até os operacionais, definindo e quantificando tanto o grau de impacto quanto o desmembramento atrelado a cada componente estudado.

MATRIZ DE IMPACTOS TECNOLÓGICOS – FERMENTAÇÃO ÚMIDA						
Componentes Ambientais	Avaliação				Magnitude	
	Abrangência	Probabilidade	Severidade	Deteção	Re	Grandeza do Impacto
Emissões líquidas	2	3	3	1	18	
Emissões gases	2	2	3	1	12	
Emissões de odores	1	3	3	1	9	
Emissões de particulados	1	2	2	1	4	
Emissões de ruídos	1	2	2	1	4	
Proliferação de vetores	1	2	2	2	8	

Abrangência:

Local (1 Ponto); Regional (2 Pontos); Global (3 Pontos)

Probabilidade:

Baixa (1 Ponto); Média (2 Pontos); Alta (3 Pontos)

Severidade:

Sem dano (1 ponto); Leve (2 Pontos); Severo (3 Pontos)

Deteção:

Fácil (1 Ponto); Moderado (2 Pontos); Difícil (3 Pontos)

Re: Resultado da multiplicação dos fatores (Abrangência x Probabilidade x Severidade x Deteção)

Grandeza do Impacto:	55
Desprezível (Re<06):	
Significante (06=<Re<18):	
Importante (Re>=18):	

QUADRO 11 – FORMAÇÃO DA MATRIZ DE IMPACTOS TECNOLÓGICOS: COMPONENTES AMBIENTAIS – FERMENTAÇÃO ÚMIDA

FONTE: PEREIRA, BENVENUTO E LINDNER (2006, p. 194). Matriz adaptada pela autora (2013).

MATRIZ DE IMPACTOS TECNOLÓGICOS – FERMENTAÇÃO SECA CONTÍNUA						
Componentes Ambientais	Avaliação				Magnitude	
	Abrangência	Probabilidade	Severidade	Deteção	Re	Grandeza do Impacto
Emissões líquidas	2	3	3	1	18	
Emissões gases	2	2	3	1	12	
Emissões de odores	1	3	3	1	9	
Emissões de particulados	1	2	2	1	4	
Emissões de ruídos	1	2	2	1	4	
Proliferação de vetores	1	2	2	2	8	

Abrangência:

Local (1 Ponto); Regional (2 Pontos); Global (3 Pontos)

Probabilidade:

Baixa (1 Ponto); Média (2 Pontos); Alta (3 Pontos)

Severidade:

Sem dano (1 ponto); Leve (2 Pontos); Severo (3 Pontos)

Deteção:

Fácil (1 Ponto); Moderado (2 Pontos); Difícil (3 Pontos)

Re: Resultado da multiplicação dos fatores (Abrangência x Probabilidade x Severidade x Deteção)

Grandeza do Impacto:	55
Desprezível (Re<06):	
Significante (06=<Re<18):	
Importante (Re>=18):	

QUADRO 12 – FORMAÇÃO DA MATRIZ DE IMPACTOS TECNOLÓGICOS: COMPONENTES AMBIENTAIS – FERMENTAÇÃO SECA CONTÍNUA.

FONTE: PEREIRA, BENVENUTO, LINDNER (2006, p. 194). Matriz adaptada pela autora (2013).

MATRIZ DE IMPACTOS TECNOLÓGICOS – FERMENTAÇÃO SECA DESCONTÍNUA						
Componentes Ambientais	Avaliação				Magnitude	
	Abrangência	Probabilidade	Severidade	Detecção	Re	Grandeza do Impacto
Emissões líquidas	2	1	3	1	6	
Emissões gases	2	2	3	1	12	
Emissões de odores	1	2	3	1	6	
Emissões de particulados	1	2	2	1	4	
Emissões de ruídos	1	2	2	1	4	
Proliferação de vetores	1	2	2	2	8	

Abrangência:

Local (1 Ponto); Regional (2 Pontos); Global (3 Pontos)

Probabilidade:

Baixa (1 Ponto); Média (2 Pontos); Alta (3 Pontos)

Severidade:

Sem dano (1 ponto); Leve (2 Pontos); Severo (3 Pontos)

Detecção:

Fácil (1 Ponto); Moderado (2 Pontos); Difícil (3 Pontos)

Re: Resultado da multiplicação dos fatores (Abrangência x Probabilidade x Severidade x Detecção)

Grandeza do Impacto:	40
Desprezível (Re<06):	
Significante (06=<Re<18):	
Importante (Re>=18):	

QUADRO 13 – FORMAÇÃO DA MATRIZ DE IMPACTOS TECNOLÓGICOS:
COMPONENTES AMBIENTAIS – FERMENTAÇÃO SECA DESCONTÍNUA

FONTE: PEREIRA, BENVENUTO E LINDNER (2006, p. 194). Matriz adaptada pela autora (2013).

MATRIZ DE IMPACTOS TECNOLÓGICOS – COMPOSTAGEM						
Componentes Ambientais	Avaliação				Magnitude	
	Abrangência	Probabilidade	Severidade	Detecção	Re	Grandeza do Impacto
Emissões líquidas	2	2	3	1	12	
Emissões gases	2	2	3	1	12	
Emissões de odores	1	3	3	1	9	
Emissões de particulados	1	3	3	1	9	
Emissões de ruídos	1	2	2	1	4	
Proliferação de vetores	1	3	2	2	12	

Abrangência:

Local (1 Ponto); Regional (2 Pontos); Global (3 Pontos)

Probabilidade:

Baixa (1 Ponto); Média (2 Pontos); Alta (3 Pontos)

Severidade:

Sem dano (1 ponto); Leve (2 Pontos); Severo (3 Pontos)

Detecção:

Fácil (1 Ponto); Moderado (2 Pontos); Difícil (3 Pontos)

Re: Resultado da multiplicação dos fatores (Abrangência x Probabilidade x Severidade x Detecção)

Grandeza do Impacto:	58
Desprezível (Re<06):	
Significante (06=<Re<18):	
Importante (Re>=18):	

QUADRO 14 – FORMAÇÃO DA MATRIZ DE IMPACTOS TECNOLÓGICOS:
COMPONENTES AMBIENTAIS – COMPOSTAGEM

FONTE: PEREIRA, BENVENUTO E LINDNER (2006, p. 194). Matriz adaptada pela autora (2013).

MATRIZ DE IMPACTOS TECNOLÓGICOS – FERMENTAÇÃO ÚMIDA						
Componentes Econômicos	Avaliação				Magnitude	
	Abrangência	Probabilidade	Severidade	Deteção	Re	Grandeza do Impacto
Custos de investimento	1	3	3	1	9	
Custos de Operação	1	3	3	1	9	
Não geração de receita com comercialização de biogás	1	1	2	1	2	
Não geração de receita com comercialização de composto	1	3	2	1	6	
Custos de destinação de líquidos	1	3	2	1	6	
Consumo de energia	1	3	2	1	6	

Abrangência:

Local (1 Ponto); Regional (2 Pontos); Global (3 Pontos)

Probabilidade:

Baixa (1 Ponto); Média (2 Pontos); Alta (3 Pontos)

Severidade:

Sem dano (1 ponto); Leve (2 Pontos); Severo (3 Pontos)

Deteção:

Fácil (1 Ponto); Moderado (2 Pontos); Difícil (3 Pontos)

Re: Resultado da multiplicação dos fatores (Abrangência x Probabilidade x Severidade x Deteção)

Grandeza do Impacto:	38
Desprezível (Re<03):	
Significante (03=<Re<09):	
Importante (Re>=09):	

QUADRO 15 – FORMAÇÃO DA MATRIZ DE IMPACTOS TECNOLÓGICOS:

COMPONENTES ECONÔMICOS – FERMENTAÇÃO ÚMIDA

FONTE: PEREIRA, BENVENUTO E LINDNER (2006, p. 194). Matriz adaptada pela autora (2013).

MATRIZ DE IMPACTOS TECNOLÓGICOS – FERMENTAÇÃO SECA CONTÍNUA						
Componentes Econômicos	Avaliação				Magnitude	
	Abrangência	Probabilidade	Severidade	Deteção	Re	Grandeza do Impacto
Custos de investimento	1	3	3	1	9	
Custos de Operação	1	2	3	1	6	
Não geração de receita com comercialização de biogás	1	1	2	1	2	
Não geração de receita com comercialização de composto	1	3	2	1	6	
Custos de destinação de líquidos	1	2	2	1	4	
Consumo de energia	1	2	2	1	4	

Abrangência:

Local (1 Ponto); Regional (2 Pontos); Global (3 Pontos)

Probabilidade:

Baixa (1 Ponto); Média (2 Pontos); Alta (3 Pontos)

Severidade:

Sem dano (1 ponto); Leve (2 Pontos); Severo (3 Pontos)

Deteção:

Fácil (1 Ponto); Moderado (2 Pontos); Difícil (3 Pontos)

Re: Resultado da multiplicação dos fatores (Abrangência x Probabilidade x Severidade x Deteção)

Grandeza do Impacto:	31
Desprezível (Re<03):	
Significante (03=<Re<09):	
Importante (Re>=09):	

QUADRO 16 – FORMAÇÃO DA MATRIZ DE IMPACTOS TECNOLÓGICOS:
COMPONENTES ECONÔMICOS – FERMENTAÇÃO SECA CONTÍNUA

FONTE: PEREIRA, BENVENUTO E LINDNER (2006, p. 194). Matriz adaptada pela autora (2013).

MATRIZ DE IMPACTOS TECNOLÓGICOS – FERMENTAÇÃO SECA DESCONTÍNUA						
Componentes Econômicos	Avaliação				Magnitude	
	Abrangência	Probabilidade	Severidade	Deteção	Re	Grandeza do Impacto
Custos de investimento	1	2	3	1	6	
Custos de Operação	1	2	3	1	6	
Não geração de receita com comercialização de biogás	1	2	2	1	4	
Não geração de receita com comercialização de composto	1	3	2	1	6	
Custos de destinação de líquidos	1	1	2	1	2	
Consumo de energia	1	2	2	1	4	

Abrangência:

Local (1 Ponto); Regional (2 Pontos); Global (3 Pontos)

Probabilidade:

Baixa (1 Ponto); Média (2 Pontos); Alta (3 Pontos)

Severidade:

Sem dano (1 ponto); Leve (2 Pontos); Severo (3 Pontos)

Deteção:

Fácil (1 Ponto); Moderado (2 Pontos); Difícil (3 Pontos)

Re: Resultado da multiplicação dos fatores (Abrangência x Probabilidade x Severidade x Deteção)

Grandeza do Impacto:	28
Desprezível (Re<03):	
Significante (03=<Re<09):	
Importante (Re>=09):	

QUADRO 17 – FORMAÇÃO DA MATRIZ DE IMPACTOS TECNOLÓGICOS: COMPONENTES ECONÔMICOS – FERMENTAÇÃO SECA DESCONTÍNUA

FONTE: PEREIRA, BENVENUTO E LINDNER (2006, p. 194). Matriz adaptada pela autora (2013).

MATRIZ DE IMPACTOS TECNOLÓGICOS – COMPOSTAGEM						
Componentes Econômicos	Avaliação				Magnitude	
	Abrangência	Probabilidade	Severidade	Deteção	Re	Grandeza do Impacto
Custos de investimento	1	1	3	1	3	
Custos de Operação	1	1	3	1	3	
Não geração de receita com comercialização de biogás	1	3	2	1	6	
Não geração de receita com comercialização de composto	1	1	2	1	2	
Custos de destinação de líquidos	1	1	2	1	2	
Consumo de energia	1	1	2	1	2	

Abrangência:

Local (1 Ponto); Regional (2 Pontos); Global (3 Pontos)

Probabilidade:

Baixa (1 Ponto); Média (2 Pontos); Alta (3 Pontos)

Severidade:

Sem dano (1 ponto); Leve (2 Pontos); Severo (3 Pontos)

Deteção:

Fácil (1 Ponto); Moderado (2 Pontos); Difícil (3 Pontos)

Re: Resultado da multiplicação dos fatores (Abrangência x Probabilidade x Severidade x Deteção)

Grandeza do Impacto:	18
Desprezível (Re<03):	
Significante (03=<Re<09):	
Importante (Re>=09):	

QUADRO 18 – FORMAÇÃO DA MATRIZ DE IMPACTOS TECNOLÓGICOS: COMPONENTES ECONÔMICOS – COMPOSTAGEM

FONTE: PEREIRA, BENVENUTO E LINDNER (2006, p. 194). Matriz adaptada pela autora (2013).

MATRIZ DE IMPACTOS TECNOLÓGICOS – FERMENTAÇÃO ÚMIDA						
Componentes Operacionais	Avaliação				Magnitude	
	Abrangência	Probabilidade	Severidade	Deteção	Re	Grandeza do Impacto
Complexidade do tratamento mecânico	1	3	3	1	9	
Potencialidade do não processamento das frações orgânicas	1	3	3	1	9	
Não comercialização de biogás	1	1	2	1	2	
Não comercialização de composto	1	3	2	1	6	
Nível de capacitação da equipe	1	3	3	1	9	
Frequência de manutenção corretiva	1	3	3	1	9	
Geração de rejeitos	1	3	3	1	9	
Área necessária	1	1	2	1	2	
Não implementação internacionais nos últimos cinco anos	1	3	2	1	6	
Indisponibilidade de fornecedores	1	1	2	1	2	

Abrangência:

Local (1 Ponto); Regional (2 Pontos); Global (3 Pontos)

Probabilidade:

Baixa (1 Ponto); Média (2 Pontos); Alta (3 Pontos)

Severidade:

Sem dano (1 ponto); Leve (2 Pontos); Severo (3 Pontos)

Deteção:

Fácil (1 Ponto); Moderado (2 Pontos); Difícil (3 Pontos)

Re: Resultado da multiplicação dos fatores (Abrangência x Probabilidade x Severidade x Deteção)

Grandeza do Impacto:	63
Desprezível (Re<03):	
Significante (03=<Re<09):	
Importante (Re>=09):	

QUADRO 19 – FORMAÇÃO DA MATRIZ DE IMPACTOS TECNOLÓGICOS: COMPONENTES OPERACIONAIS – FERMENTAÇÃO ÚMIDA

FONTE: PEREIRA, BENVENUTO E LINDNER (2006, p. 194). Matriz adaptada pela autora (2013).

MATRIZ DE IMPACTOS TECNOLÓGICOS – FERMENTAÇÃO SECA CONTÍNUA						
Componentes Operacionais	Avaliação				Magnitude	
	Abrangência	Probabilidade	Severidade	Deteção	Re	Grandeza do Impacto
Complexidade do tratamento mecânico	1	3	3	1	9	
Potencialidade do não processamento das frações orgânicas	1	2	3	1	6	
Não comercialização de biogás	1	1	2	1	2	
Não comercialização de composto	1	1	2	1	2	
Nível de capacitação da equipe	1	3	3	1	9	
Frequência de manutenção corretiva	1	2	3	1	6	
Geração de rejeitos	1	2	3	1	6	
Área necessária	1	1	2	1	2	
Não implementação internacionais nos últimos cinco anos	1	2	2	1	4	
Indisponibilidade de fornecedores	1	2	2	1	4	

Abrangência:

Local (1 Ponto); Regional (2 Pontos); Global (3 Pontos)

Probabilidade:

Baixa (1 Ponto); Média (2 Pontos); Alta (3 Pontos)

Severidade:

Sem dano (1 ponto); Leve (2 Pontos); Severo (3 Pontos)

Deteção:

Fácil (1 Ponto); Moderado (2 Pontos); Difícil (3 Pontos)

Re: Resultado da multiplicação dos fatores (Abrangência x Probabilidade x Severidade x Deteção)

Grandeza do Impacto:	50
Desprezível (Re<03):	
Significante (03=<Re<09):	
Importante (Re>=09):	

QUADRO 20 – FORMAÇÃO DA MATRIZ DE IMPACTOS TECNOLÓGICOS: COMPONENTES OPERACIONAIS – FERMENTAÇÃO SECA CONTÍNUA

FONTE: PEREIRA, BENVENUTO E LINDNER (2006, p. 194). Matriz adaptada pela autora (2013).

MATRIZ DE IMPACTOS TECNOLÓGICOS – FERMENTAÇÃO SECA DESCONTÍNUA						
Componentes Operacionais	Avaliação				Magnitude	
	Abrangência	Probabilidade	Severidade	Deteção	Re	Grandeza do Impacto
Complexidade do tratamento mecânico	1	2	3	1	6	
Potencialidade do não processamento das frações orgânicas	1	1	3	1	3	
Não comercialização de biogás	1	1	2	1	2	
Não comercialização de composto	1	3	2	1	6	
Nível de capacitação da equipe	1	2	3	1	6	
Frequência de manutenção corretiva	1	2	3	1	6	
Geração de rejeitos	1	1	3	1	3	
Área necessária	1	2	2	1	4	
Não implementação internacionais nos últimos cinco anos	1	1	2	1	2	
Indisponibilidade de fornecedores	1	2	2	1	4	

Abrangência:

Local (1 Ponto); Regional (2 Pontos); Global (3 Pontos)

Probabilidade:

Baixa (1 Ponto); Média (2 Pontos); Alta (3 Pontos)

Severidade:

Sem dano (1 ponto); Leve (2 Pontos); Severo (3 Pontos)

Deteção:

Fácil (1 Ponto); Moderado (2 Pontos); Difícil (3 Pontos)

Re: Resultado da multiplicação dos fatores (Abrangência x Probabilidade x Severidade x Deteção)

Grandeza do Impacto:	42
Desprezível (Re<03):	
Significante (03=<Re<09):	
Importante (Re>=09):	

QUADRO 21 – FORMAÇÃO DA MATRIZ DE IMPACTOS TECNOLÓGICOS: COMPONENTES OPERACIONAIS – FERMENTAÇÃO SECA DESCONTÍNUA

FONTE: PEREIRA, BENVENUTO E LINDNER (2006, p. 194). Matriz adaptada pela autora (2013).

MATRIZ DE IMPACTOS TECNOLÓGICOS – COMPOSTAGEM						
Componentes Operacionais	Avaliação				Magnitude	
	Abrangência	Probabilidade	Severidade	Deteção	Re	Grandeza do Impacto
Complexidade do tratamento mecânico	1	1	3	1	3	
Potencialidade do não processamento das frações orgânicas	1	1	3	1	3	
Não comercialização de biogás	1	3	2	1	6	
Não comercialização de composto	1	1	2	1	2	
Nível de capacitação da equipe	1	1	3	1	3	
Frequência de manutenção corretiva	1	1	3	1	3	
Geração de rejeitos	1	1	3	1	3	
Área necessária	1	3	2	1	6	
Não implementação internacionais nos últimos cinco anos	1	1	2	1	2	
Indisponibilidade de fornecedores	1	1	2	1	2	

Abrangência:

Local (1 Ponto); Regional (2 Pontos); Global (3 Pontos)

Probabilidade:

Baixa (1 Ponto); Média (2 Pontos); Alta (3 Pontos)

Severidade:

Sem dano (1 ponto); Leve (2 Pontos); Severo (3 Pontos)

Deteção:

Fácil (1 Ponto); Moderado (2 Pontos); Difícil (3 Pontos)

Re: Resultado da multiplicação dos fatores (Abrangência x Probabilidade x Severidade x Deteção)

Grandeza do Impacto:	33
Desprezível (Re<03):	
Significante (03=<Re<09):	
Importante (Re>=09):	

QUADRO 22 – FORMAÇÃO DA MATRIZ DE IMPACTOS TECNOLÓGICOS: COMPONENTES OPERACIONAIS – COMPOSTAGEM

FONTE: PEREIRA, BENVENUTO E LINDNER (2006, p. 194). Matriz adaptada pela autora (2013).

4.5 AVALIAÇÃO DE ROTA TECNOLÓGICA PARA A GESTÃO SUSTENTÁVEL DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES

Compilando os resultados obtidos a partir das matrizes elaboradas temos que a fermentação seca descontínua e a compostagem apesar de promoverem um impacto significativo, ainda são as tecnologias de menor grandeza de impacto, demandando desta forma medidas mitigadoras quando da sua aplicação, na forma de controle de odores e vetores, controle das emissões líquidas e gasosas, entre outras formas de controle que promovam a segurança na área afetada pela operação da planta.

MATRIZ DE IMPACTOS TECNOLÓGICOS					
Tecnologias	Avaliação			Magnitude	
	ambiental	operacional	econômica	Re	Grandeza do Impacto
Fermentação úmida	55	63	38	156	
Fermentação seca contínua	55	50	31	136	
Fermentação seca descontínua	40	42	28	110	
Compostagem	58	33	18	109	

Re: Resultado da adição dos fatores (Ambiental + Operacional + Econômico)

Grandeza do Impacto:	
Desprezível (Re<100):	
Significante (100=<Re<150):	
Importante (Re>=150):	

QUADRO 23 – FORMAÇÃO DA MATRIZ DE IMPACTOS TECNOLÓGICOS: COMPILAÇÃO DE RESULTADOS

FONTE: Matriz desenvolvida pela autora com os dados das matrizes anteriores (2013).

Os resultados obtidos a partir da matriz tecnológica corroboram com as decisões firmadas pela Prefeitura no intuito de aplicar estas tecnologias como práticas de valorização de resíduos, situação esta exposta no Relatório Aditivo 1 – Biometanização (AMBIENTAL JACAREÍ, 2013, p. 18) proposto pela empresa ENOB que define a tecnologia de fermentação seca descontínua como rota tecnológica e justificada a partir dos seguintes argumentos:

Recomenda-se um sistema de biodigestão seca em túneis, como realizado no módulo de batelada. Comparado aos sistemas de biodigestão convencionais na forma contínua ou úmida, os processos por batelada mostram as seguintes vantagens, as quais são especialmente significativas para uma planta no Brasil:

- Não há necessidade de uma preparação onerosa das frações para a biodigestão.
- Não há necessidade de uma mistura mecânica durante a fermentação.
- No fermentador não se encontram componentes mecânicos.
- Não há risco de redução no desempenho da fermentação quando da desconstituição dos microorganismos biológicos devido há existência de microorganismos biocinéticos que garantem a base do processamento.
- Não há necessidade de um processo oneroso de prensagem ao término da biodigestão seca descontínua (por batelada), onde se descartam grandes quantidade de líquidos com alta carga orgânica, estes podendo representar até 30% quando da aplicação de fermentação seca contínua ou fermentação úmida. (AMBIENTAL JACAREÍ, 2013, p. 18)

Esta tendência de emprego das tecnologias de fermentação seca foi reforçada em artigo técnico publicado em revista especializada do setor Müll und Abfall de janeiro de 2014:

In Germany 63 plants are in operation, 46 with dry and 17 with wet Technologies. The 46 dry plants are divided into 23 continuously and 23 discontinuously (batchwise) procedures. The dominance of the dry processes is reflected necessarily in one and two-step procedures because two-step processes are limited to wet processes... The highest net electricity yield is generated by dry continuous processes. Despite the lower own energy requirement dry discontinuous method does not achieve these benefits. The thermophilic process results in all methods to significantly higher methane yields⁸. (FRICKE; HEUSSNER; HUTTNER; TURK; PEREIRA; BAUER; BIDLINGMAIER, 2014, p. 21)

No mesmo relatório emitido pela empresa ENOB, esta ainda define a compostagem como a prática complementar ao sistema de fermentação, como segue: “A estabilização aeróbia acontecerá em um sistema fechado na forma de túneis por um período de três semanas.”, concluindo o relatório com o seguinte argumento:

⁸ Tradução livre da autora: “Na Alemanha, 63 plantas estão em operação, sendo 46 com tecnologia seca e 17 úmida. As 46 plantas com tecnologia seca estão divididas em 23 de sistema contínuo e 23 descontínuo (batelada). O domínio dos processos secos remetem a procedimentos com uma ou duas fases, pois os procedimentos úmidos estão relacionados aos processos úmidos. O maior rendimento líquido de eletricidade é gerado pelos processos secos contínuos, apesar dos processos secos descontínuos resultarem em um menor consumo de energia. Em todos os sistemas, os processos termofílicos geram uma maior quantidade de metano.”

A implementação do projeto ofertado ratifica o compromisso público com a manutenção do meio ambiente ecologicamente equilibrado através de uma gestão eficaz de resíduos com redução, reaproveitamento e reciclagem, promovendo maior inclusão e justiça social, além da otimização dos gastos públicos, cujo reflexo será a melhora da limpeza urbana, saúde pública, preservação ambiental e responsabilidade social, objetivo de todos os segmentos da sociedade. (AMBIENTAL JACAREÍ, 2013, p. 38)

Para avaliar e retificar as práticas apontadas pela empresa ENOB foi contratada a PUC do Rio de Janeiro para a emissão de “*Relatório Técnico: Avaliação da Proposta de Tratamento Mecânico Biológico para a Cidade de Jacareí / SP*” que conclui:

Com a tecnologia TMB proposta são atendidos os requisitos qualitativos relativos aos resíduos processados e rejeitos. Algumas medidas devem ser implementadas e estas abarcam desde atividades para o fomento do mercado para aplicação do composto; planejamento para o emprego da camada de oxidação do metano como ferramenta mitigadora de passivos ambientais, através da redução das emissões em aterros encerrados, até uma disposição final dos rejeitos do TMB executada de forma diferenciada, por meio de equipamentos adequados para reduzir o impacto ambiental dos aterros.

Portanto, o tratamento mecânico e biológico gera uma redução significativa de volume de aterramento, onde as taxas de redução variam entre 65 e 72%. A emissão de metano é reduzida entre 85 e 90%. Quando da cobertura do aterro com a camada de oxidação de metano obtêm-se uma redução de 95% na geração de biogás. Desta forma, o projeto oferecido cumpre com os requisitos de proteção climática e preservação dos recursos primários.

O projeto tem caráter flexível podendo ter suas instalações adaptadas modularmente, quando de alterações quantitativas e qualitativas dos resíduos, ou mesmo estimulado por demandas identificadas no mercado consumidor de produtos secundários. (DE CAMPOS, 2013, p. 40)

Assim a autora desta pesquisa entende que a rota tecnológica escolhida como tratamento mecânico e biológico onde as intervenções biológicas se darão na forma fermentação seca descontínua e compostagem, potencializam o resgate e a transformação das frações valorizáveis presentes nos resíduos, gerando subprodutos que podem ser introduzidos na cadeia econômica na forma de energia, composto, recicláveis e biomassa, possuem vantagens evidentes frente às outras formas de tecnologia de fermentação no que se refere ao potencial de colapso do fermentador, processos de sedimentação e incrustação, intervenções reparo e manutenção e ainda a destinação dos líquidos que podem atingir índices de emissão na ordem de 30-50% quando do emprego da fermentação seca contínua e úmida e ainda questões relativas a complexidade operacional como um todo.

No sentido de prover qualidade e continuidade à aplicação dos novos sistemas de tratamento temos acentuada a demanda por capacitação técnica, esta mola propulsora do próprio mercado de valorização de resíduos, bastante amplo e multidisciplinar, dependente de capacidade de planejamento, execução, operação, monitoramento, controle, licenciamento, financiamento, abarcando os demais segmentos da sociedade. Este aspecto foi identificado e abordado no Relatório emitido pela PUC-Rio:

Considerando o caráter inovador do projeto, propomos algumas intervenções como forma de garantir a excelência da implantação e da operação, como se segue:

- Acompanhamento técnico durante a elaboração do projeto executivo;
- Acompanhamento técnico durante a construção da planta;
- Fornecimento de capacitação para o corpo técnico do município e operacional da empresa;
- Acompanhamento técnico durante o primeiro ano da operação;
- Atividades para o desenvolvimento do mercado de resíduos secundários. (DE CAMPOS, 2013, p. 41)

Seguindo na linha da inovação apontada pela PUC-Rio em seu relatório (DE CAMPOS, 2013), temos algumas tendências para este mercado expostas a seguir, onde estes aspectos foram abordados em Curso de Capacitação ministrado pela autora em novembro de 2013 promovido pela GIZ – Agência Alemã de Cooperação Internacional para os Ministérios de Ciência e Tecnologia, Meio Ambiente e Cidades:

- Reutilizar e Reciclar (Papel/papelão, Plásticos, Vidros, Metais, Orgânicos);
- Minimização/Proibição de aterramento de frações in natura;
- Pré-Tratamento prioritariamente ao aterramento;
- Remediação de aterros através da valorização dos resíduos antigos;
- Ministério Público e Agências Ambientais como alavancadoras da gestão sustentável (restrição em licenciamento, TAC⁹, etc.);
- O setor de manejo de resíduos possui demanda imediata para plantas de tratamento;
- As tecnologias consolidadas para o tratamento são estrangeiras, notadamente da Alemanha, França e Estados Unidos;

⁹ Termo de Ajustamento de Conduta.

- O mercado interno está aquecido devido à oferta de concessões públicas na modalidade Parceria Público-Privada – PPP que já chegaram a R\$ 14 bilhões entre 2010 e 2012;
- Há linhas de financiamento com taxas diferenciadas (BNDES e CEF)¹⁰ para plantas de tratamento e ainda a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) para projetos de cunho inovador;
- Mercado pulverizado, mas com tendência ao estreitamento através do surgimento de grandes parcerias nacionais;
- Contratos voltados à gestão integral dos resíduos e de longo prazo;
- As propostas técnicas para o gerenciamento de sistemas de manejo de resíduos devem considerar a inclusão de cooperativas;
- Plantas de tratamento nacionalizadas terão maior flexibilidade comercial e de financiamento;
- As tecnologias introduzidas serão aquelas preparadas para o recebimento de resíduo urbano heterogêneo, e com possibilidade de acompanhar a melhoria dos sistemas de separação na fonte geradora;
- As tecnologias deverão ser consolidadas para viabilização do licenciamento;
- Parcerias com entidades neutras que dominem tecnologias;
- Detentores de tecnologia não mais como fornecedores, mas sim como parceiros, sugestão: operação compartilhada por dois anos;
- As PPP agregam qualidade ao serviço da limpeza pública urbana reduzindo os custos e introduzindo novas metodologias de gestão dos resíduos sólidos urbanos.

As tendências expostas demonstram a complexidade do sistema, transpassando a definição de rota tecnológica na forma mecânico-biológica e emborcando em medidas que promovam o comprometimento de toda uma sociedade, definição de política pública, formação de parque industrial, garantia de capacidade técnica, entre outros diversos fatores necessários para a condução eficaz dos novos sistemas de valorização de resíduos.

¹⁰ Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social e Caixa Econômica Federal.

5 CONCLUSÕES

A partir do trabalho desenvolvido foi atendido o objetivo geral que era identificar a rota tecnológica que garanta uma gestão sustentável de resíduos sólidos domiciliares no Município de Jacareí – SP, ratificando o momento em que o país vivencia de ordem política, tecnológica e social através do fomento a políticas de proteção e preservação ambiental, geração de empregos verdes fomentando a inclusão social, todos fatores positivos para o amparo da introdução da gestão sustentável de resíduos sólidos, mas não podemos nos omitir frente ao nosso maior gargalo que é insuficiência de capacidade técnica do mercado brasileiro para o recebimento destes novos sistemas.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES EM JACAREÍ

Avaliando os dados obtidos nas campanhas de 2007, 2011 e a previsão para 2023, verificamos tanto a prevalência das frações orgânicas, cerca de 50%, corroborando assim para a introdução de técnica para sua estabilização biológica quanto a presença de recicláveis na ordem de 30%, justificando sua valorização e reintrodução no mercado na forma de recurso secundário.

As informações coletadas no município de Jacareí quanto às condições gravimétricas dos resíduos acompanham o panorama nacional, porém os dados foram obtidos a partir de campanhas pontuais, com metodologias de amostragem incompletas, tendo sido executadas em 2007 e 2011 durante a elaboração do “*Plano de Limpeza Urbana*”. Apesar da fragilidade e defasagem, optou-se por seu emprego durante este trabalho pois os valores captados ainda possuem coerência com as médias nacionais, permitindo assim uma extrapolação até a data de 2023.

5.2 DESCRIÇÃO DAS TECNOLOGIAS EXISTENTES PARA A VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES

Durante o mapeamento tecnológico foram abordadas frentes de valorização de resíduos presentes em nível global que apontassem soluções voltadas tanto para a promoção da reciclagem quanto recuperação energética, quais sejam: compostagem e fermentação. Algumas destas frentes foram apresentadas em versões variando das mais simples até mais complexas em relação ao avanço tecnológico provendo faixas de menores a maiores desvios de massa e complexidade operacional diversificada.

Os processos de incineração são inadequados para a cidade estudada, não apenas pela baixa geração de resíduos, cerca de 200 toneladas por dia, influenciando a viabilidade econômica, mas principalmente pela baixa eficiência energética deste sistema.

Temos então os sistemas de tratamento mecânico-biológicos, que promovem o preparo e a segregação das frações durante a fase mecânica. No âmbito do tratamento biológico, foram abordadas tecnologias voltadas para a recuperação energética das frações orgânicas na forma de fermentação, seja úmida e seca (contínua e descontínua) e ainda os processos aeróbios que servem tanto para a geração de compostos e condicionadores de solos como para produção de biomassa.

Todas estas tecnologias possuem nuances que devem ser consideradas isoladamente, contemplando aspectos operacionais, econômicos e ambientais, porém para a promoção de uma avaliação fiel, existe uma defasagem bibliográfica bastante representativa, esta combinada a nossa imaturidade tecnológica.

Atualmente no Brasil há pouca presença tecnológica para a promoção da valorização dos resíduos, as práticas existentes são aplicadas em baixa escala, e ainda estamos suscetíveis à importação de tecnologias. Desta forma, o mercado brasileiro ainda não está preparado para prover tecnologias, porém é condição *sine qua non* que nosso parque industrial se desenvolva no sentido de garantir o atendimento da demanda que surgirá nos próximos anos. A preferência por equipamentos nacionais transpassa a discussão dos tributos de importação e está

diretamente relacionada com as disponibilidades de linhas de financiamento e garantia da operacionalidade da planta no que diz respeito às ações de manutenção.

5.3 ESTABELECIMENTO DE MATRIZ DE IMPACTO TECNOLÓGICO QUE AVALIE OS ASPECTOS AMBIENTAIS, ECONÔMICOS E OPERACIONAIS

Para fins de avaliação de tecnologias foi desenvolvida uma matriz tecnológica fundamentada no impacto originado das tecnologias, tendo como critérios a severidade, abrangência, probabilidade e detecção, avaliando e mensurando assim o potencial de aplicabilidade de cada tecnologia.

Quando analisada a matriz proposta verifica-se que as tecnologias de fermentação são as rotas tecnológicas de menor impacto no aspecto ambiental devido ao controle rigoroso de processo que estas tecnologias são submetidas quando comparadas às tecnologias de compostagem de ordem menos complexa, em contrapartida, as tecnologias de fermentação tem um impacto econômico e operacional mais significativo.

Entre as tecnologias de fermentação a seca descontínua apresenta vantagens tanto na ordem econômica, quanto ambiental e operacional frente às tecnologias de fermentação seca contínua e úmida. Isto se deve ao fato das tecnologias secas descontínuas serem de menor complexidade operacional, ou seja, as ações de manutenção preventivas e corretivas são mais fáceis de serem aplicadas e demandam menos assiduidade devido a robustez de seus componentes. Esta menor complexidade também resulta em menor capacidade técnica. No que se refere à análise de viabilidade econômica, a fermentação seca descontínua tem menores custos de investimento e de operação, ou seja, a menor geração de receita com a comercialização de biogás é compensada tanto pelas menores despesas em energia pela dispensa das ações de prensagens quanto pelas menores despesas para tratamento de percolados.

5.4 AVALIAÇÃO DE ROTA TECNOLÓGICA PARA A GESTÃO SUSTENTÁVEL DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES ELEGIDA PELO MUNICÍPIO DE JACAREÍ

Uma rota tecnológica demanda um processamento eficaz do substrato e geração de subprodutos que sejam valorizados pelo mercado. Dessa forma, os resultados obtidos através da análise da matriz de impacto tecnológico corroboram com a decisão firmada pela Prefeitura, no intuito de aplicar as tecnologias fermentação seca descontínua e compostagem com aeração forçada em túneis, como práticas de valorização de resíduos.

6 RECOMENDAÇÕES

As recomendações aqui propostas estão diretamente relacionadas com o projeto estudado na cidade de Jacareí, porém considerando que os desafios para implementar em caráter pioneiro novas práticas transpassam as fronteiras do município e se identificam com outras realidades, estas tornam-se válidas para promover o sucesso de outros projetos para o tratamento de resíduos que ocorrem em âmbito nacional.

As ações recomendáveis para fins de garantir uma caracterização fiel dos resíduos, potencializando seu processamento e recuperação, incluem uma rotina de caracterização estabelecida pela administração pública a partir da definição de um calendário, intervenção na forma de campanhas pelo menos a cada quatro anos, ou sempre que estiverem sendo estudadas implementações de novas práticas. Também deverá ser preparada uma metodologia de caracterização por setor, mapeando a influência da geração frente à condição de renda da comunidade estudada, além de promover campanhas de mobilização social para que a comunidade tenha conhecimento das ações que estarão sendo implementadas.

A administração pública detém a competência sobre a gestão dos resíduos sólidos domiciliares e neste sentido deve estar preparada para responder aos questionamentos da comunidade, democratizar informações, estabelecer critérios coerentes durante a caracterização e fundamentalmente saber instruir processos de contratação que tomem em consideração a expertise da contratada e as demandas do município. Para tal, é necessário que sejam introduzidos cursos de capacitação em parceria com instituições conhecedoras do mérito com o intuito de criar uma massa crítica para planejar, implementar e operar as ações de caracterização.

Considerando que a coleta diferenciada de resíduos recicláveis, seja porta a porta, seja através das entregas voluntárias em ECOPONTOS, reduz não apenas o potencial contaminante das substâncias apropriando valores de comercialização mais elevados, mas também garante o incremento da quantidade, pois oferta ao munícipe sensibilizado espaços e instrumentos de coleta e, ainda, a otimização da coleta seletiva vai muito além de um aparelhamento apropriado, estando esta diretamente relacionada às intervenções para disseminação de conhecimento e sensibilização junto à comunidade, propõe-se cursos de capacitação periódicos

aplicados em espaço público combinados com visitação técnica às instalações voltadas à gestão direta dos resíduos como aterro, ecoponto, cooperativa, entre outros.

Observando a multiplicidade de fontes de geração de resíduos sólidos urbanos, verifica-se que deverão ainda ser planejadas intervenções junto à indústria, comércio, prestadores de serviço, entre outras entidades, onde não havendo por parte da administração pública competência para gerir os resíduos provenientes dos grandes geradores, estes poderão se tornar parceiros do novo sistema de gestão diferenciada e promover em suas instituições medidas que garantam a integridade dos resíduos e desta forma a sua melhor utilização e valorização.

A administração pública deverá firmar convênios com as entidades de educação formal para fins de fomentar todo o sistema de gestão de resíduos que deverá ocorrer através da promoção de intervenções multidisciplinares e transversais através de *workshops* e visitas técnicas, contando com a participação da equipe técnica da administração e de consultores contratados.

A administração pública além de promover a educação ambiental informal através de seminários, congressos técnicos, campanhas midiáticas, também deve firmar o compromisso de instituir um banco de dados registrando todas as práticas elencadas para uma melhor gestão dos resíduos, desde as pessoas e entidades envolvidas, sistemas aplicados, estudos desenvolvidos, bem como os valores comprometidos. Deverá ainda abrir uma linha para contato direto de todos os participantes do sistema para fins de esclarecimento e apontamento das reclamações, como ainda, realizar periodicamente levantamentos estatísticos com o intuito de analisar o desenvolvimento da gestão, sendo necessário atualizar e revisar o plano de gerenciamento que foi desenvolvido em 2007, com o intuito de firmar os indicativos e metas de qualidade.

Em relação ao mapeamento tecnológico, recomenda-se a promoção de revisão bibliográfica com o intuito de formar um banco de dados coerente e que reflita a realidade dos processos, transpassando aspectos acadêmicos e promovendo material informativo para fins de aplicação em larga escala que abordem de forma ampla as particularidades dessas novas práticas. É fundamental o entrelaçamento entre as ações acadêmicas e as demandas de mercado, através da promoção de projetos de pesquisa que atendam às expectativas tanto do poder público quanto do setor privado, gerando uma relação de simbiose entre estes

atores e não mais intervenções segregadas e que não convergem para um mesmo fim.

Promover a aplicabilidade tecnológica está diretamente relacionado com estudos de viabilidade operacional, econômica e ambiental. As tecnologias devem ser adaptadas para serem aplicadas ao nosso mercado. Os governos em todas as suas esferas, devem promover linhas de fomento, na forma de financiamentos e subsídios tanto para pesquisa quanto para aplicação em larga escala.

A escolha e aplicação consistente das tecnologias é decorrente da capacitação do público interno, pois para que uma administração tenha condição de montar e avaliar uma matriz de impacto tecnológico deve, sobretudo buscar capacitação de sua equipe. Para isto propomos parceria com entidades renomadas e que possam, de forma neutra, contribuir para que a matriz expresse a realidade da tecnologia estudada. Também pode ser entendido como medida de capacitação o fomento de viagens técnicas para conhecerem as tecnologias avaliadas, sendo que na escolha das plantas a serem visitadas, algumas características devem ser privilegiadas, tais como aplicação em escala e substratos semelhantes.

Para fins de tropicalização de tecnologias deve-se focar em capacitação e linhas de pesquisa para aplicação e adaptação das tecnologias com base em nossas diversidades climáticas e gravimétricas e ainda nossa disponibilidade de peças de manutenção. Isto apenas será possível através da formação de parcerias com entidades governamentais, acadêmicas, de pesquisa, entre outras.

Propõe-se para minimizar o impacto das novas tecnologias e salvaguardar o gestor público e a comunidade, de forma a garantir a eficiência dos novos sistemas, que sejam introduzidas nos termos de referência dos editais a serem elaborados as garantias de performance que definam o desempenho individual dos equipamentos e do conjunto, e ainda instituíam-se penalidades para seu descumprimento.

As plantas de tratamento não prescindem de licenciamento, porém metodologias de avaliação destas tecnologias ainda não fazem parte do rol ofertado pelas agências ambientais. Assim, as agências também deverão buscar sua capacitação a fim de estabelecer uma metodologia e equalizar os entendimentos de seus técnicos. Para tal, sugiro parcerias com entidades governamentais e acadêmicas. São escassas também as normativas que regulem este novo fenômeno. Faz-se necessário, então, a formação de câmaras técnicas multidisciplinares em diferentes níveis de competência da federação, principalmente

estabelecendo parcerias com entidades renomadas e acadêmicas. Também empresas de consultorias deverão buscar sua capacitação a fim de penetrar neste novo mercado e garantir competências para a promoção de seus resultados.

O mapeamento de fornecedores é tão essencial quando pensamos nas atividades de manutenção preventiva e corretiva quanto a garantia de um estoque reforçado para a disponibilidade das peças mais complexas e de fácil avaria. Assim impedindo que a planta seja paralisada indevidamente em decorrência das atividades de manutenção.

As parcerias com entidades de controle e monitoramento são relevantes para a antecipação dos problemas e promoção de ações corretivas. Avaliação contínua dos impactos ambientais também pode ser entendida como uma ferramenta de proteção ambiental e de garantia da eficiência da operação.

Com o objetivo de promover o mercado, entende-se como primeira iniciativa a realização de um mapeamento do mercado em um raio de 50 km para cadastramento de potenciais receptores dos subprodutos e logo em seguida uma extensão do raio de influência para 100 km.

A promoção dos resultados deve compor um programa de comunicação para a disseminação dos dados e afastamento de mitos; e ainda incentivos, na forma de benefícios tributários, deverão ser instituídos para a substituição dos recursos naturais pelos secundários. Estas ações devem compor a política pública do município e garantir segurança jurídica para aqueles que participarem do novo sistema de gestão dos resíduos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2012**. Edição especial de 10 anos. São Paulo, 2012. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2012.pdf>>. Acesso em: 05 fev 2014.

AMBIENTAL JACAREÍ. **Relatório Aditivo 1: Biometanização**. 2013.

BRASIL. Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010a. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 23 dez. 2010. p. 1. Seção 1. Edição extra. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm>. Acesso em: 05 fev. 2014.

BRASIL. Lei nº 11.107, de 06 de abril de 2005. Dispõe sobre normas gerais de contratação de consórcios públicos e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 07 abr. 2005, p. 1. Seção 1. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/lei/l11107.htm>. Acesso em: 05 fev. 2014.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nºs 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 08 jan. 2007, p. 3, Seção 1. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm>. Acesso em: 05 fev. 2014.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010b. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 03 ago. 2010, p. 3, Seção 1. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 05 fev. 2014.

BRASIL. Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 28 abr. 1999, p. 1, Seção 1. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9795.htm>. Acesso em: 05 fev. 2014.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **PROSAB 2006**: Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, anexo I, Texto completo do PROSAB. 2006. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/fundos_setoriais/acao_transversal/documentos/Texto_completo_PROSAB.PDF>. Acesso em: 05 fev. 2014.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Programa 2068 Saneamento Básico**: Contextualização. [2011]. Plano Plurianual – 2012-2015. Disponível em: <http://www.integracao.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=85dc6839-9473-4067-ab78-2fb6186406da&groupId=10157>. Acesso em: 05 fev. 2014.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. **Guia para a elaboração dos planos de gestão de resíduos sólidos**. Brasília, 2011. Disponível em: <http://www.cidadessustentaveis.org.br/sites/default/files/arquivos/guia_elaboracao_planos_gestao_residuos_solidos_mma.pdf>. Acesso em: 05 fev. 2014.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos** [revisão do Decreto nº 280.812/2012]. Brasília, 2012. Disponível em: <http://www.sinir.gov.br/documents/10180/12308/PNRS_Revisao_Decreto_280812.pdf/e183f0e7-5255-4544-b9fd-15fc779a3657>. Acesso em: 05 fev. 2014.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. Melhoria da Gestão Ambiental Urbana no Brasil. **Manual para elaboração do plano de gestão integrada de resíduos sólidos dos consórcios públicos**. Brasília, 2010. (BRA/OEA/08/001). Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/srhu_urbano/_arquivos/1_manual_elaborao_plano_gesto_integrada_rs_cp_125.pdf>. Acesso em: 05 fev. 2014.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030, 8**: geração termelétrica, biomassa. Brasília: MME / EPE, 2007. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/PNE/20080512_8.PDF>. Acesso em: 05 fev. 2014.

CACHOEIRINHA. Prefeitura Municipal. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS)**. Cachoeirinha, RS, 2012. Disponível em: <<http://www.cachoeirinha.rs.gov.br/portal/index.php/plano-municipal-de-residuos-solidos>>. Acesso em: 05 fev. 2014.

CASTILHOS JR., A. B.; MEDEIROS, P. A.; FIRTA, I. N.; LUPATINI, G.; SILVA, J. D. Principais processos de degradação de resíduos sólidos urbanos. In: CASTILHOS JR., A. B. (Org.). **Resíduos Sólidos Urbanos**: aterro sustentável para municípios de pequeno porte. 4. ed. Rio de Janeiro: Rima ABES, 2006.

DE CAMPOS, T. M. P. **Relatório Técnico:** avaliação da proposta de tratamento mecânico biológico para a cidade de Jacareí / SP. Rio de Janeiro: PUC-Rio, 2013.

DEEPASK. **Receita orçamentária:** Veja o total das receitas no seu município – Jacareí, SP. [2013]. Disponível em: <<https://www.deepask.com/goes?page=jacarei/SP-Receita-orcamentaria:-Veja-o-total-das-receitas-no-seu-municipio>>. Acesso em: 05 fev. 2014.

ENOB AMBIENTAL. [201-?]. **ENOB Engenharia Ambiental Ltda.** [Site institucional]. Disponível em: <http://www.enob.com.br/grupo_ambiental_jacarei.asp>. Acesso em: 05 fev. 2014.

FORESTI, E.; FLORÊNCIO, L.; VAN HAANDEL, A.; ZAIAT, M.; CAVALCANTI, P. F. F. Fundamentos do Tratamento Anaeróbio. In: CAMPOS, José Roberto. (Coord.) **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo.** Rio de Janeiro: ABES, 1999. p. 29-52. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/prosab/livros/prosabcamposfinal.pdf>>. Acesso em: 05 fev. 2014.

FREITAS, J. **Sustentabilidade:** direito ao futuro. 2. ed. Belo Horizonte: Fórum, 2012.

FRICKE, K. **Steigerung der Energieeffizienz in der Verwertung biogener Reststoffe.** Bundesministerium, für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Braunschweig, Germany: Technische Universität Braunschweig, 2013. Endbericht zu Förderprojekt 03 KB 022 (BMU).

FRICKE, K.; DICHTL, N.; SANTEN, H.; MÜNNICH, K.; BAHR, T.; HILLEBRECHT, K.; SCHULZ, O. **Aplicação do tratamento mecânico-biológico de resíduos no Brasil. Guia para uma gestão integrada de resíduos sólidos com a aplicação da técnica de TMB compreendendo disposição em aterros, tratamento de chorume e recuperação de aterros desativados.** Göttingen, Germany: Hubertus & Co, 2007.

FRICKE, K.; HEUSSNER, C.; HUTTNER, A.; TURK, T.; PEREIRA, C.; BAUER, W.; BIDLINGMAIER, W. Vergärung von bio-und grünabfällen. Teil 1: Ausbaupotenzial bei der Vergärung von bio-und grünabfällen. Berlin, 12, 2013b, p. 628-635. Disponível em: <<http://www.MUELLundABFALL.de/MA.12.2013.636>>. Acesso em: 05 fev. 2014.

FRICKE, K.; HEUSSNER, C.; HUTTNER, A.; TURK, T.; PEREIRA, C.; BAUER, W.; BIDLINGMAIER, W. Vergärung von bio-und grünabfällen. Teil 2: Status quo der Bio-und Grünabfallvergärung. Berlin, 1, 2014, p. 21-27. Disponível em: <<http://www.MUELLundABFALL.de/MA.01.2014.021>>. Acesso em: 05 fev. 2014.

FRICKE, K.; HEUSSNER, C.; HUTTNER, A.; TURK, T.; BIBLINGMAIER, W. **Neue Wege zur Prozessoptimierung in Biosanlagen**. [S.l.]: Energetische Biomassenutzung, 2013a. (Schriftenreihe des BMU-Förderprogramms, band 11).

FRICKE, K.; KOLSCH, F.; PFAFF-SIMONEID, W. Verbesselter Klimaschutz bei der Abfallentsorgung in Schwellen- und Entwicklungsländern durch Anpassung des Emissionshandels. Berlin, 3, 2009, p. 104-105. Disponível em: <<http://www.MUELLundABFALL.de/MUA.03.2009.104>>. Acesso em: 05 fev. 2014.

FRICKE, K.; PEREIRA C. **Equalização de tecnologias**: proposição para tratamento e valorização de resíduos Jacareí – SP. Braunschweig, Alemanha: Universidade Técnica de Braunschweig, 2012. Relatório.

FRICKE, K.; PEREIRA, C. **Apresentação técnica para módulo gestão de resíduos aplicado no curso de mestrado Engenharia Urbana e Ambiental na PUC-Rio**. Universidade Técnica de Braunschweig, 2013a.

FRICKE, K.; PEREIRA, C. **Apresentação técnica para módulo tecnologias ambientais aplicado no curso de mestrado Engenharia Urbana e Ambiental na PUC-Rio**. Universidade Técnica de Braunschweig, 2013b.

FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS (SEADE). **Perfil Municipal de Jacareí**. Disponível em: <<http://produtos.seade.gov.br/produtos/perfil/perfil.php>>. Acesso em: 17 jun. 2014.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 1991.

HOEFLICH, V. A., SILVA, J. de A., SANTOS, A. J. **Política Florestal**: Conceitos e Princípios para a sua Formulação e Implementação. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. (Documento, 160). Disponível em: <<http://www.cnpf.embrapa.br/publica/seriedoc/edicoes/Doc160.pdf>>. Acesso em: 05 fev. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Jacareí**. 2013. Disponível em: <<http://cod.ibge.gov.br/234VB>>. Acesso em: 05 fev. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) 2008**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf>. Acesso em: 05 fev. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Vocabulário Básico de Recursos Naturais e Meio Ambiente**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/vocabulario.pdf>>. Acesso em: 05 fev. 2014.

INSTITUTO GPP. **Pesquisa de Opinião, quadro político, Jacareí, SP**: Maio 2012. 2012. Disponível em: <<http://www.gpp.com.br/arquivos/rel-jacarei-final-maio-2012.pdf>>. Acesso em: 05 fev. 2014.

JACAREÍ. Prefeitura Municipal. Lei Complementar nº 49/2003. Institui o Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Município de Jacareí, nos termos do Estatuto da Cidade, Lei Federal nº 10.257, de 10 de julho de 2001, e dá outras providências. **Boletim Municipal**, 13 dez. 2003. Disponível em: <<http://www.jacarei.sp.gov.br/uploads/arquivo/2013/06/e55f7-arquivo-Plano%20Diretor%20Atualizado.pdf>>. Acesso em: 05 fev. 2014.

JACAREÍ. Prefeitura Municipal. Secretaria de Meio Ambiente. **Plano de Limpeza Urbana do Município de Jacareí**: Revisão e Adequação. São Paulo: Proema Engenharia e Serviços Ltda, 2007. Disponível em: <http://egov.jacarei.sp.gov.br/Download/Plano_de_Limpeza_Urbana_Jacarei.pdf>. Acesso em: 05 fev. 2014.

JACAREÍ. Prefeitura Municipal. Secretaria de Planejamento. **Dados Gerais do Município**. Jacareí, 2004. Disponível em: <http://egov.jacarei.sp.gov.br/sitedados_gerais/dados%20gerais%202004.pdf>. Acesso em: 05 fev. 2014.

JACAREÍ. Prefeitura Municipal. Secretaria de Planejamento. **Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico**. Jacareí: Consórcio PlanSan123, 2013. Disponível em: <<http://www.jacarei.sp.gov.br/planosaneamento>>. Acesso em: 05 fev. 2014.

JARDIM, A.; VALVERDE, J.; YOSHIDA, C. **Política Nacional, gestão e gerenciamento de resíduos sólidos**. São Paulo: Manole. 2012.

KEYASSOCIADOS. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos no Município de Cachoeirinha**. Cachoeirinha, RS: Keyassociados; Pró-Sinos, 2012. Disponível em: <http://www.consorcioprosinos.com.br/downloads/plano_gestao_residuos_solidos_cachoeirinha_02082012.pdf>. Acesso em: 05 fev. 2014.

LEITE, J. R. M.; BELCHIOR, G. P. N. **Resíduos Sólidos e Política Pública**: Diálogos entre Universidade, Poder Público e Empresa. Florianópolis: Insular, 2014.

Disponível em: <http://issuu.com/editorainsular/docs/di__logos_entre>. Acesso em: 05 fev. 2014.

OLIVEIRA, L. B.; REIS, M. de M.; PEREIRA, A. S. Resíduos Sólidos Urbanos: lixo ou combustível? In: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental; AIDIS. **Américas y la acción por el medio ambiente em el milênio**. Rio de Janeiro: ABES, 2000. p. 1-12. Apresentado no XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 27, 2000, Porto Alegre, entre 3 e 8 de dezembro. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/resisoli/iii-007.pdf>>. Acesso em: 05 fev. 2014.

PARANÁ. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **O que são Políticas Públicas?** [2011]. Disponível em: <http://www.meioambiente.pr.gov.br/arquivos/File/coea/pncpr/O_que_sao_PoliticasPublicas.pdf>. Acesso em: 05 fev. 2014.

PEREIRA, C.; BENVENUTO, C.; LINDNER, R. (Coords.). **Relatório Ambiental Preliminar: Parque de Valorização de Resíduos**, Prefeitura Municipal de São Sebastião, São Paulo. 2006. Volume I. Memorial Descritivo.

RAUBER, M. E. Apontamentos sobre a Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei Federal nº 12.305, de 02.08.2010. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 4, n. 4, p. 1-24, 2011. Disponível em: <<http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/reget/article/view/3893/2266>>. Acesso em: 05 fev. 2014.

RODRIGUES, Rudmila. **Jacareí amplia serviço de coleta seletiva**. Prefeitura de Jacareí [notícias], Jacareí, 11 fev. 2014. Disponível em: <<http://www.jacarei.sp.gov.br/noticia/meio-ambiente/2014/02/11/jacarei-amplia-servico-de-coleta-seletiva/14854>>. Acesso em: 15 fev. 2014.

SÃO PAULO. Lei nº 13.798, de 09 de novembro de 2009. Institui a Política Estadual de Mudanças Climáticas – PEMC. **Diário Oficial [do] Estado de São Paulo**, Poder Executivo, São Paulo, v. 119, n. 209, 10 nov. 2009. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/wp-content/uploads/2013/01/lei_13798_portugues.pdf>. Acesso em: 05 fev. 2014.

SCHMIDT, T. **Organic Waste to Energy**: Estudo sobre o Aproveitamento Energético da Fração Orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil, Tecnologias, Estado da Arte e Perspectivas. Bonn; Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, 2011. Programa Energia e Meio Ambiente.

SCHMIDT, T. **Planos de gestão integrada de resíduos sólidos urbanos: avaliação da arte no Brasil, comparação com a situação na Alemanha e proposições para uma metodologia apropriada.** Recife: Ministério do Meio Ambiente, 2005.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação.** 3. ed. rev. atual. Florianópolis: Laboratório de Ensino à Distância da UFSC, 2001.

UMWELTBUNDESAMT (UBA) (Hrsg.). **Aufwand und Nutzen einer optimierten Bioabfallverwertung hinsichtlich Energieeffizienz, Klima- und Ressourcenschutz.** Dessau-Roßlau, 2010. (Texte 43/2010). Disponível em: <<http://www.uba.de/uba-info-medien/4010.html>>. Acesso em: 05 fev. 2014.

VALLE, C. E. **Qualidade ambiental: ISO 14000.** 4. ed. rev. e ampl. São Paulo: Senac, 2002.

VIEIRA, S. M. M.; SILVA, J. W. **Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa: Relatórios de Referência: Emissões de Metano no Tratamento e na Disposição de Resíduos.** Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2002. Disponível em: <http://www.fcmc.es.gov.br/download/EMISS%C3%95ES_DE_METANO_NO_TRATAMENTO_E_NA_DISPOSI%C3%87%C3%83O_D.pdf>. Acesso em: 05 fev. 2014.

GLOSSÁRIO

Ação mitigadora (ou ação imediata): Ação implementada para controlar ou reduzir o impacto de uma anomalia.

Ação antrópica ou antropogênica: Qualquer atividade desenvolvida pelo homem sobre o meio ambiente, independentemente de ser maléfica ou benéfica.

Acidogênicas: Capacidade de decompor a matéria orgânica, formando compostos mais simples, como ácidos solúveis. Os subprodutos formados são principalmente água, hidrogênio e dióxido de carbono.

Aquecimento global: Intensificação do efeito estufa natural da atmosfera terrestre, em decorrência de ações antrópicas, responsáveis por emissões e pelo aumento da concentração atmosférica de gases que contribuem para o aumento de temperatura média do planeta, provocando fenômenos climáticos adversos.

Área contaminada: local onde há contaminação causada pela disposição, regular ou irregular, de quaisquer substâncias ou resíduos.

Aterro Sanitário: “Forma de disposição mais econômica de resíduos sólidos urbanos e ambientalmente segura. Consiste na disposição do lixo coletado no solo, utilizando-se métodos de engenharia para confinar os despejos na menor área e volumes possíveis e cobri-los com uma camada de terra ao final da jornada diária ou em períodos mais frequentes” (VIEIRA; SILVA, 2002, p. 23).

Autoprodutor de energia: Pessoa física ou jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebam concessão ou autorização para produzir energia elétrica destinada ao seu uso exclusivo.

Bactérias metanogênicas: Bactérias do metano que, na ausência de oxigênio, realizam a fermentação alcalina da matéria orgânica putrescível, com a produção de gás metano.

Biodigestão: Método de reciclagem que consiste na produção de gás combustível e também de adubos, a partir de compostos orgânicos.

Biodigestor: Equipamento constituído por um tanque subterrâneo, na maioria das vezes, destinado a recolher gás metano (também chamado biogás) produzido a partir de decomposição anaeróbica do lixo orgânico, produzindo ainda, uma carga de nutrientes agrícolas sob a forma de resíduos sólidos chamados biofertilizantes. Os biofertilizantes contêm nitrogênio, fósforo e potássio dentre outros (IBGE, 2004, p. 48).

Biofertilizantes: carga de nutrientes agrícolas sob a forma de resíduos sólidos que contêm nitrogênio, fósforo e potássio dentre outros.

Biomassa: Substância orgânica ou qualquer matéria vegetal que pode ser utilizada como fonte de energia.

Biogás: Gás produzido na fase de gaseificação do processo de biodigestão – degradação anaeróbia da matéria orgânica.

Chorume: líquido produzido pela decomposição do lixo.

Classificação de resíduos: Ato de classificar os resíduos em função de suas propriedades físico-químicas e biológicas. A Classificação do resíduo deve ser feita de acordo com as normas ABNT NBR 10004, NBR 10005, NBR 10006 e NBR 10007 como norma para coleta destes materiais, e tem por objetivo definir o nível de periculosidade do resíduo para a saúde e o meio ambiente.

Coleta seletiva: coleta de resíduos sólidos previamente segregados conforme sua constituição ou composição.

Compostagem: Processo de decomposição biológica de fração orgânica biodegradável de resíduos sólidos, efetuado por uma população diversificada de organismos em condições controladas de aerobiose e demais parâmetros, desenvolvido em duas etapas distintas: uma de degradação ativa e outra de maturação.

Desenvolvimento sustentável: Processo de geração de riquezas que atende às necessidades presentes, sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades, no qual a exploração de recursos, a política de investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e as mudanças institucionais encontram-se em harmonia, para elevação do potencial atual e futuro de satisfazer as necessidades e

aspirações do ser humano. (Lei [Estadual de São Paulo] nº 13.798/2009 – SP, art. 4º, inc. X).

Destinação final ambientalmente adequada: destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes, entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos.

Disposição final ambientalmente adequada: distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos.

Gases de Efeito Estufa (GEE): Constituintes gasosos da atmosfera, naturais ou resultantes de processos antrópicos, capazes de absorver e reemitir a radiação solar infravermelha, especialmente o vapor d'água, o dióxido de carbono, o metano e o óxido nitroso, além do hexafluoreto de enxofre, dos hidrofluorcarbonos e dos perfluorcarbonos.

Geradores de resíduos sólidos: pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, que geram resíduos sólidos por meio de suas atividades, nelas incluído o consumo.

Gerenciamento de resíduos sólidos: conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, de acordo com plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos ou com plano de gerenciamento de resíduos sólidos, exigidos na forma da Lei nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010b).

Gestão integrada de resíduos sólidos: conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável.

Impacto ambiental: Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta e indiretamente, afetam: (a) a saúde, a segurança e o bem-estar da população; (b) as atividades sociais e econômicas; (c) a biota; (d) as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; e, (e) a qualidade dos recursos ambientais.

Incineração: Processo de combustão controlada para degradar termicamente materiais residuais. Aplica-se ao tratamento de resíduos através da queima de resíduos sólidos ou líquidos químicos, até a redução a cinzas, utilizando equipamentos que produzem altas temperaturas, com padrões de emissões atmosféricas controladas.

Indicador ambiental: Parâmetro (biológico, físico, químico, social ou econômico) que serve como medida das condições de um fator ambiental.

Leira: Unidade onde o lixo é amontoado, depois de triturado, e permanece até a bioestabilização da massa orgânica, obtida através ou não do seu reviramento.

Lixiviado: Líquido infiltrado e drenado através de resíduos sólidos, e que contém materiais em solução ou suspensão.

Matéria orgânica: Substância proveniente de seres vivos, incluindo restos animais e vegetais, que sofreu decomposição ou que pode ser decomposta.

Matriz energética: É toda a energia disponibilizada para ser transformada, distribuída e consumida nos processos produtivos. Também pode ser uma representação quantitativa da oferta de recursos energéticos oferecidos por um país ou por uma região.

Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL): Instrumento previsto no Protocolo de Quioto (artigo 12), relativo a ações de mitigação de emissões de gases de efeito estufa, com o propósito de auxiliar os países em desenvolvimento, não incluídos no Anexo I do Protocolo, a atingirem o desenvolvimento, bem como contribuir para o alcance dos objetivos da Convenção do Clima, prevista a geração de créditos por Reduções Certificadas de Emissões – RCEs, a serem utilizados pelos países desenvolvidos para cumprimento de suas metas no âmbito do referido acordo internacional.

Mudanças climáticas: Alteração no clima, direta ou indiretamente atribuída à atividade humana, que afete a composição da atmosfera e que se some àquela provocada pela variabilidade climática natural, observada ao longo de períodos comparáveis.

Metal pesado: Qualquer composto de Antimônio, Cádmio, Crômio (IV), Chumbo, Estanho, Mercúrio, Níquel, Selênio, Telúrio e Tálho, incluindo a forma metálica.

Patogenicidade: Capacidade de um agente causar doença em indivíduos normais suscetíveis.

Reciclagem: processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes.

Recursos naturais: Denominação aplicada a todas as matérias-primas, tanto aquelas renováveis como as energias não renováveis, obtidas diretamente da natureza, e aproveitáveis pelo homem.

Redução de carga microbiana: Aplicação de processo que visa a inativação microbiana das cargas biológicas contidas nos resíduos.

Rejeitos: resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada.

Resíduos sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

Resíduos sólidos recicláveis: Resíduos sólidos urbanos, geralmente inertes, que podem ser reintroduzidos no ciclo produtivo, como matérias-primas ou insumos de processos industriais (IBGE, 2010).

Resíduos perigosos: Aqueles que, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infectantes, possam apresentar riscos à saúde pública ou à qualidade do meio ambiente.

Reutilização: processo de aproveitamento dos resíduos sólidos sem sua transformação biológica, física ou físico-química, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes.

Sistema de Cogeração: Ao produzir eletricidade, as máquinas também produzem calor. Um sistema de cogeração permite o aproveitamento deste calor, para gerar água quente, vapor, calefação e refrigeração por absorção.